

Percepção Visual

PTC3547 – Codificação e Transmissão
Multimídia

Guido Stolfi – 3/2025



Tópicos Abordados:

Fisiologia do Olho Humano

Elementos de Neurologia: impulsos nervosos

Características da Visão

Mecanismo da formação da imagem

Percepção de Intensidade e Fator Gama

Resolução Espacial

Resolução Temporal e Cintilação

Percepção de Movimento

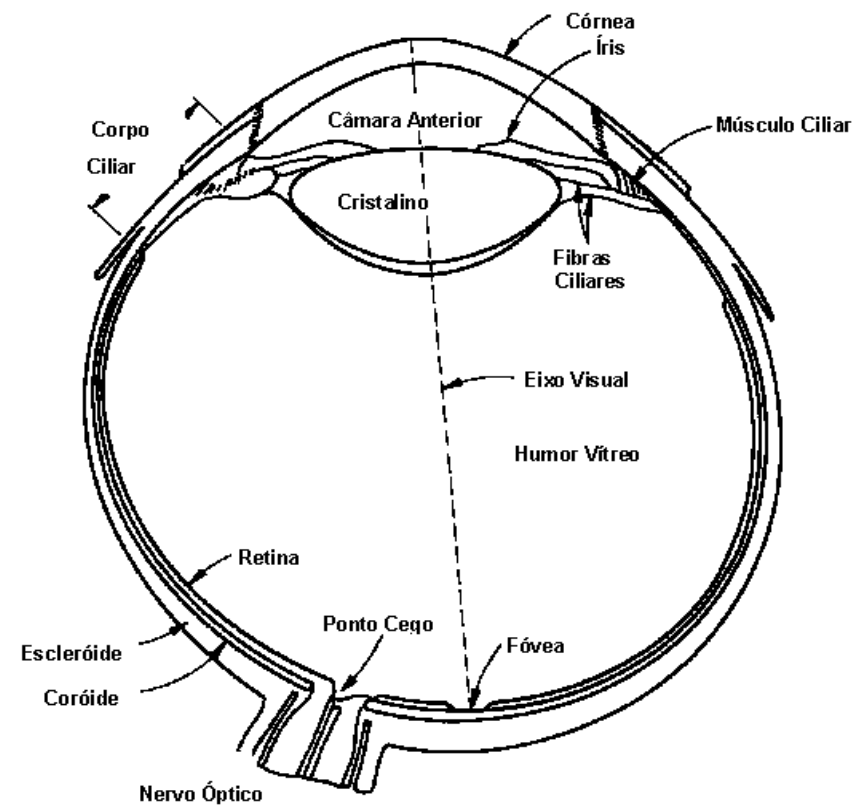
Percepção de Distância

Ilusões Ópticas

Fisiologia do Olho Humano

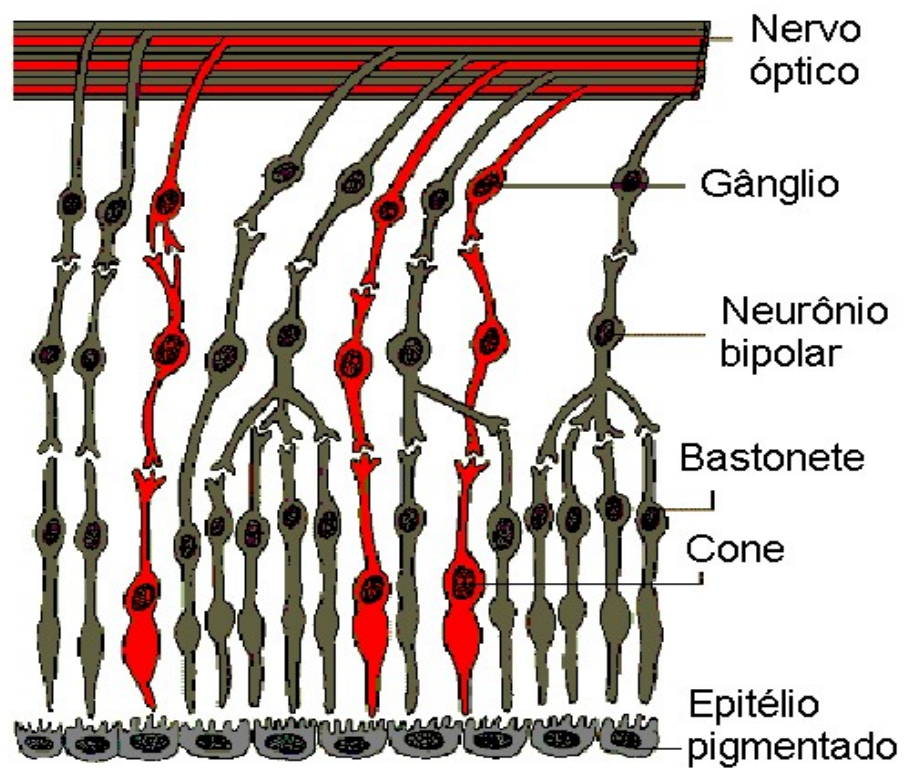
Estrutura do Olho Humano

LCS
EPUSP



Estrutura da Retina

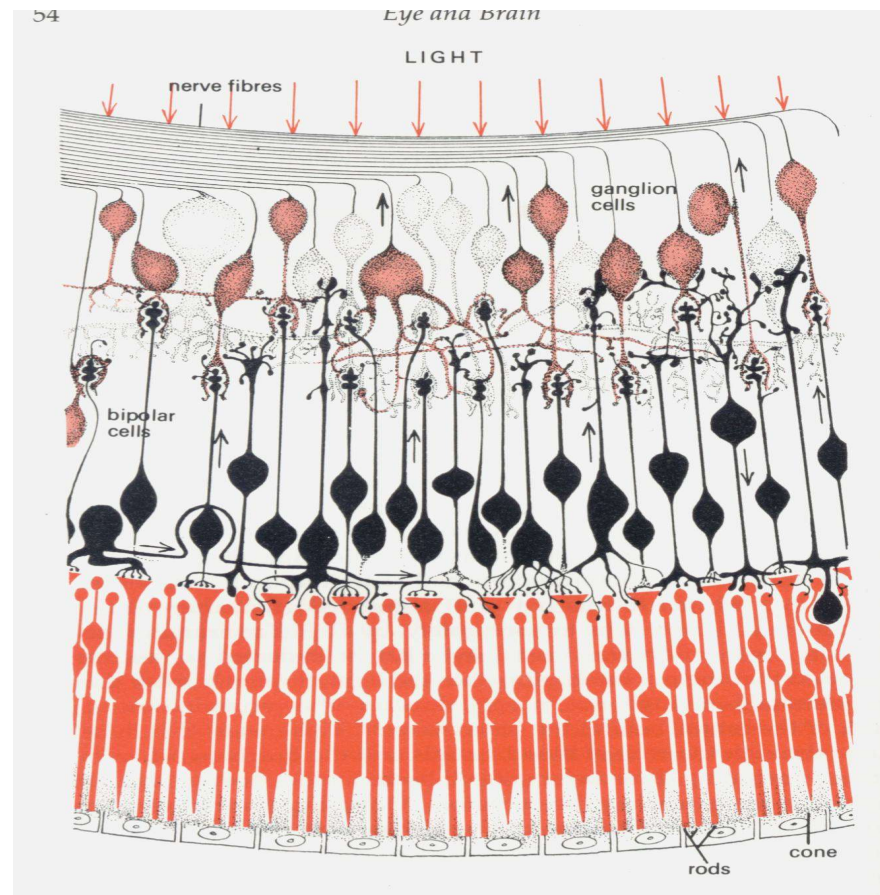
LCS
EPUSP



- 7.000.000 de Cones – células sensíveis à intensidade e à cor (visão Fotópica)
- 130.000.000 de Bastonetes – sensíveis apenas à intensidade (Visão Escotópica)
- 1.000.000 de fibras nervosas no Nervo Óptico
- Fisiologicamente, é uma extensão do córtex cerebral

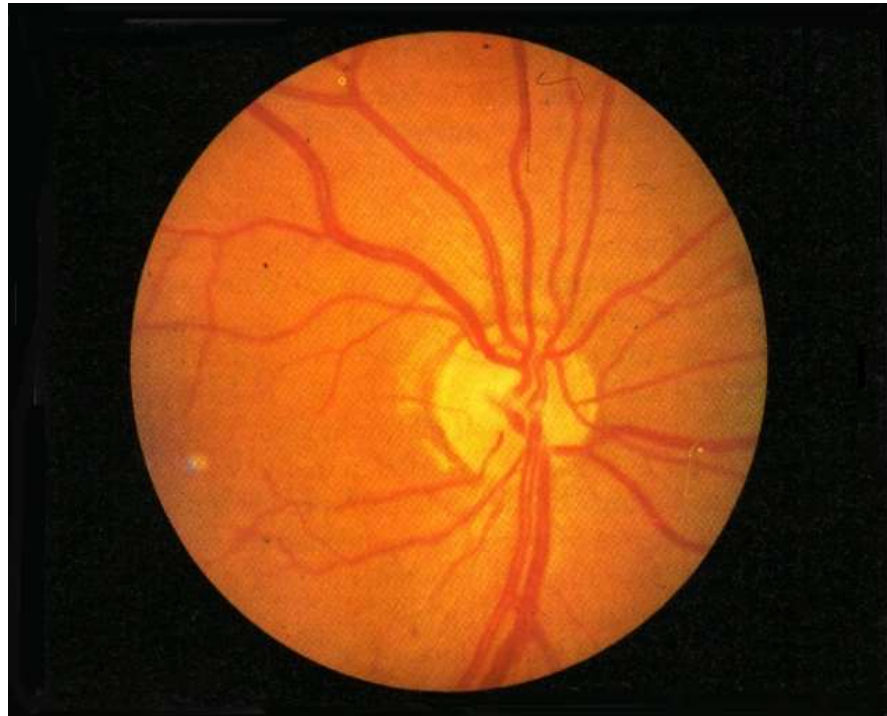
Estrutura da Retina

LCS
EPUSP



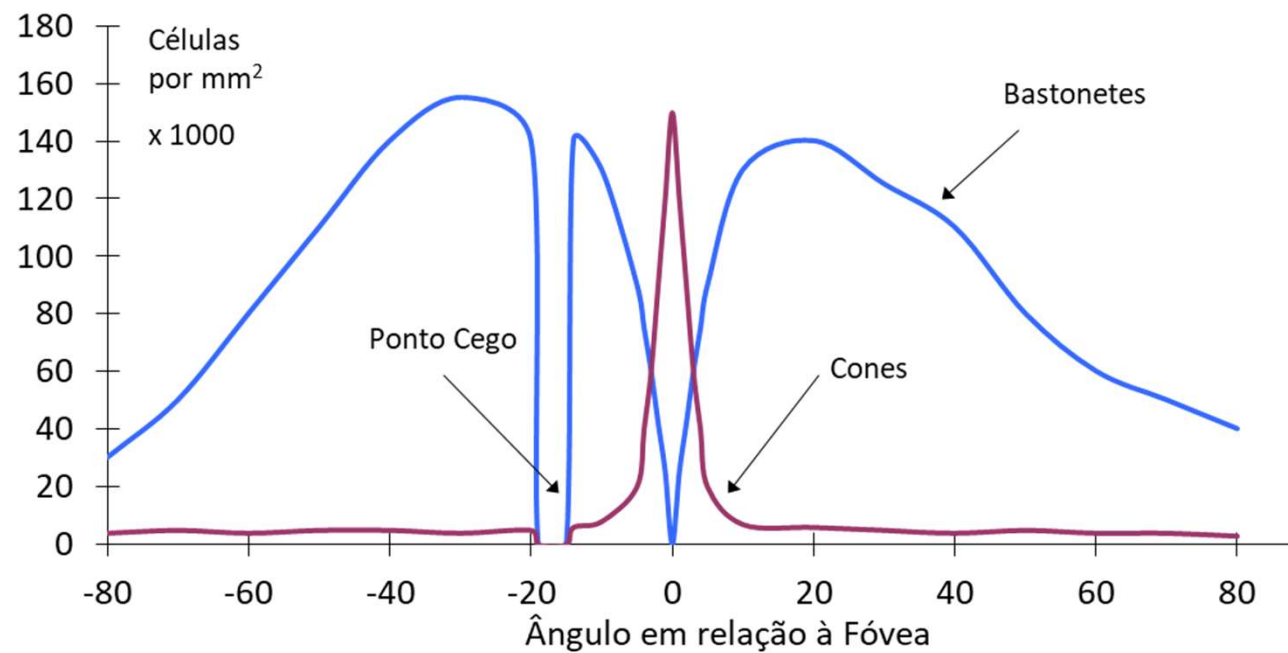
Retina Ocular

LCS
EPUSP



- Área central da retina ($\sim 2 \text{ mm}^2$), responsável pela Visão Central
- Abrange ângulo visual de ~ 2 graus
- Resolução Angular para Luminância: 1 a 2 minutos de grau (1 a 2 mm x 3 metros)
- Resolução Angular para Crominância: 5 a 10 minutos de grau
- Frequência Crítica de Cintilação: 40 a 85 Hz

Distribuição das Células na Retina

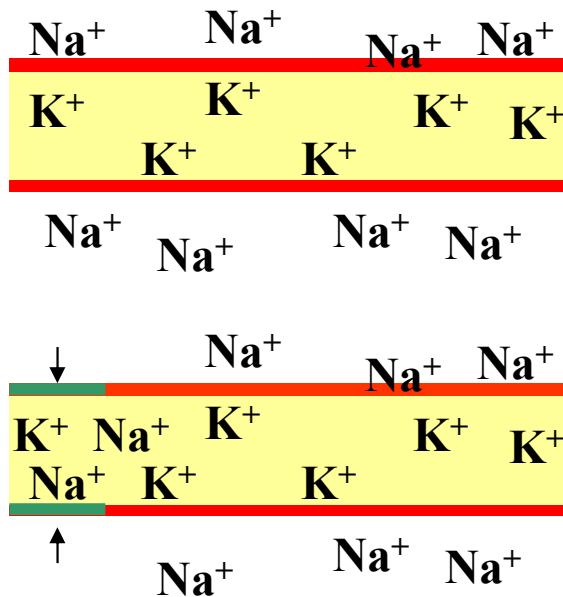


- Agrupamento: várias células contribuem para uma unidade de percepção (ex.: bastonetes)
- Inibição Lateral: estímulos locais dessensibilizam células vizinhas (filtro passa-altas espacial)
- Inibição temporal: estímulos “ON”, “OFF” (filtro passa-altas temporal)

- Fibras nervosas transmitem impulsos **químicos**
- Potencial elétrico é consequência do impulso químico
- Impulsos têm sempre mesma amplitude
- Intensidade do estímulo afeta taxa de repetição dos impulsos
- Cada fibra nervosa transmite apenas uma qualidade de estímulo

Propagação do Impulso Nervoso

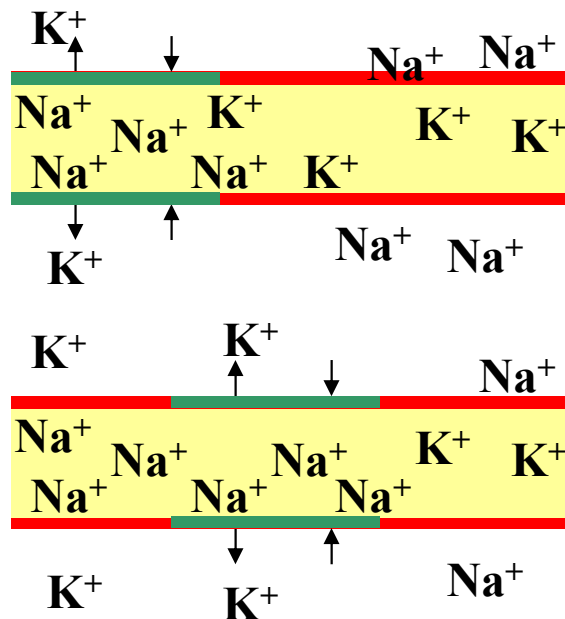
LCS
EPUSP



Fibra em repouso:
Potencial de -75 mV

Início do impulso (Paredes da fibra
permitem ingresso de Sódio):
Potencial de Ação de $+55 \text{ mV}$

Propagação do Impulso Nervoso

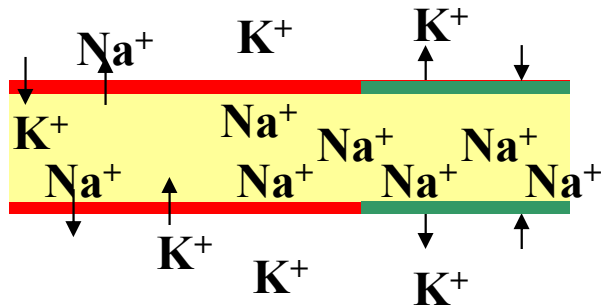


Propagação (paredes da fibra tornam-se permeáveis ao potássio):
Potencial retorna a -70 mV

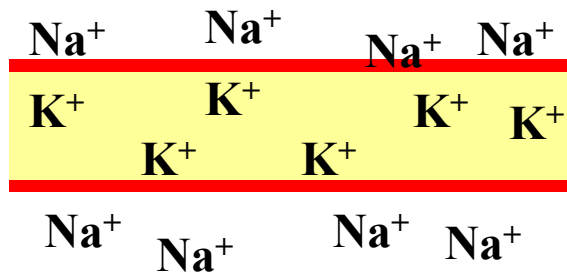
Fim do impulso (paredes tornam-se impermeáveis):
Potencial de polarização -70 mV

Propagação do Impulso Nervoso

LCS
EPUSP

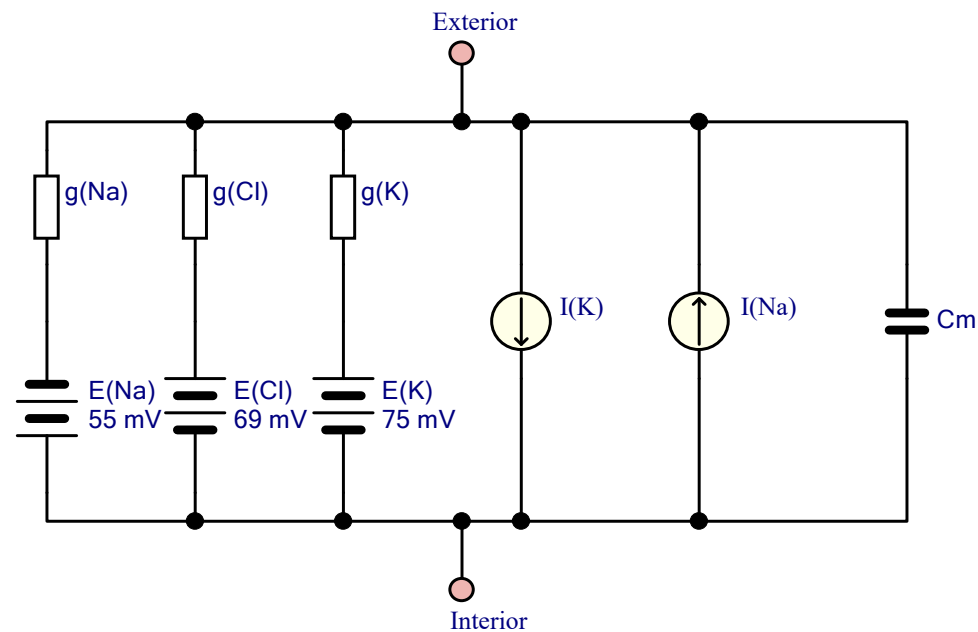


Bomba Sódio-Potássio entra em ação (período refratário):
Potencial de -70 mV



Fibra em repouso:
Potencial de -75 mV

Modelo de um Elemento de Fibra Nervosa

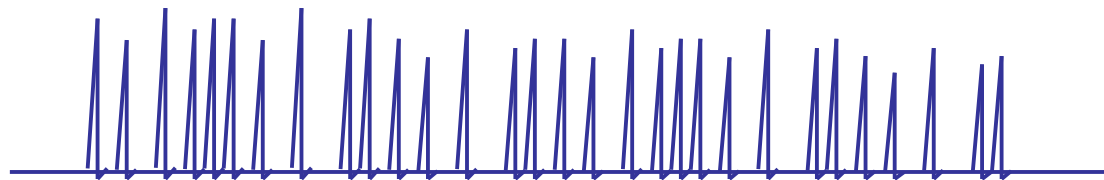


$$g(\text{K}) = 20 g(\text{Na})_0 = 4 g(\text{Cl})$$

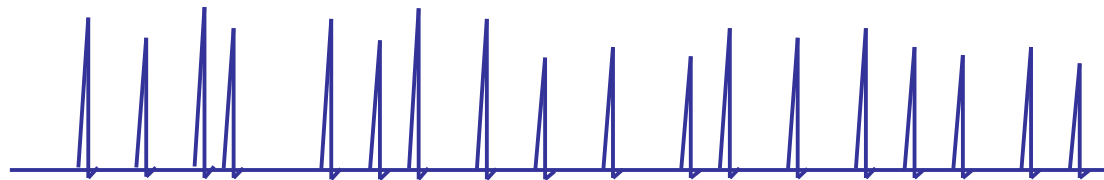
$$g(\text{Na})_p = 500 g(\text{Na})_0$$

Impulsos Nervosos em Células Sensoriais

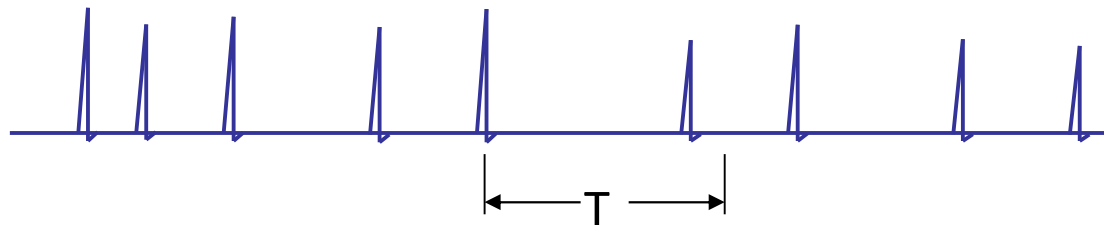
LCS
EPUSP



$$E = 1000$$



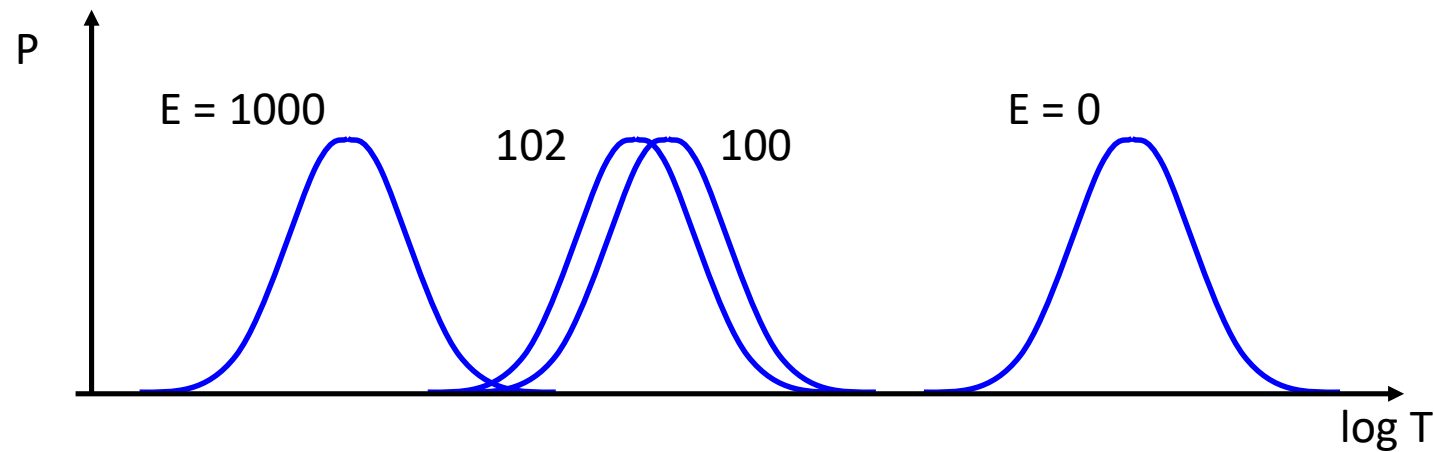
$$E = 10$$



$$E = 0$$

Percepção de Diferenças de Intensidade

LCS
EPUSP



- Percepção de intensidade é proporcional ao logaritmo do estímulo

Tipos de Fibras no Nervo Óptico

LCS
EPUSP



Estímulo Luminoso



Células “ON”

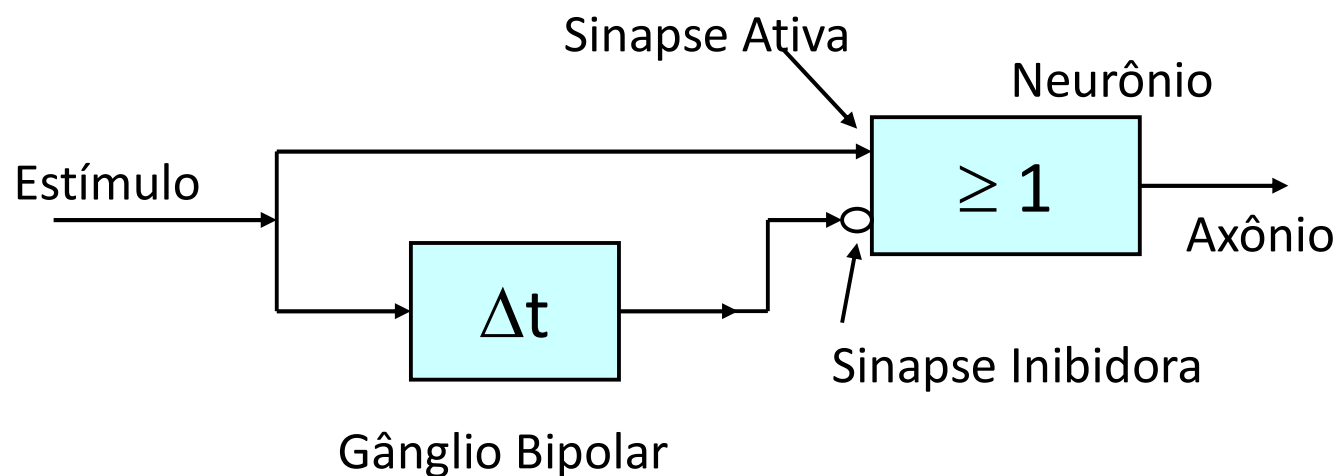


Células “OFF”



Células “ON-OFF”

Exemplo de Processamento Neuronal

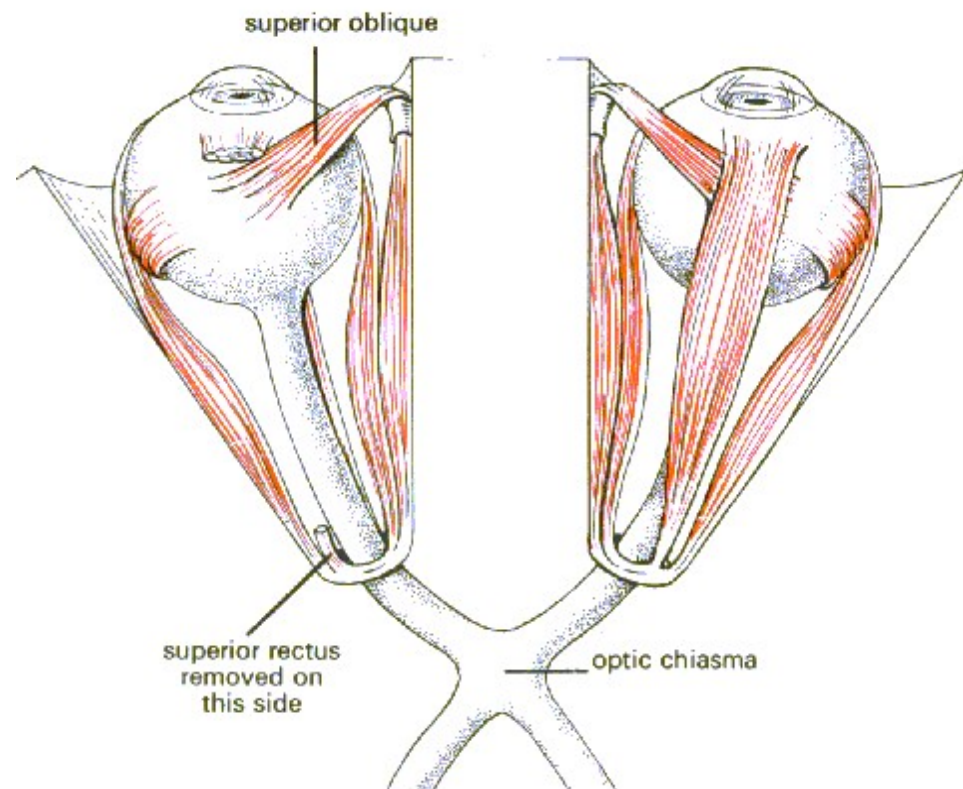


- Maioria das fibras transmite variações temporais de luminosidade

Mecanismo de Construção da Visão

Musculatura do Globo Ocular

LCS
EPUSP



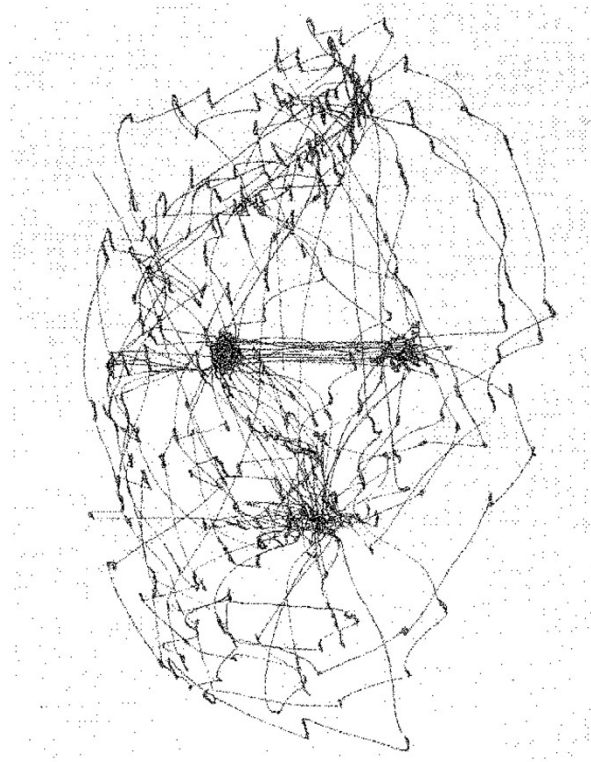
Movimentos Sacádicos

LCS
EPUSP



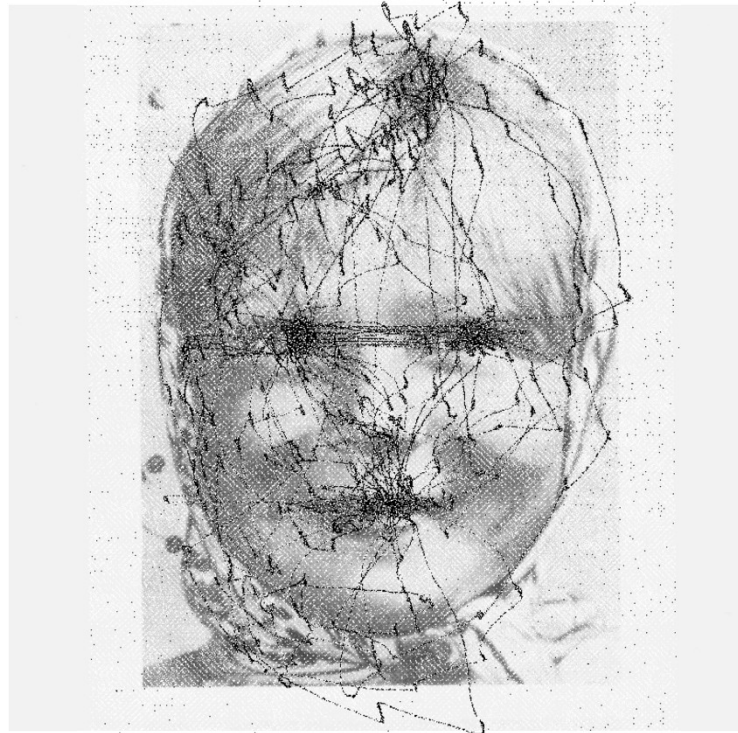
Movimentos Sacádicos

LCS
EPUSP



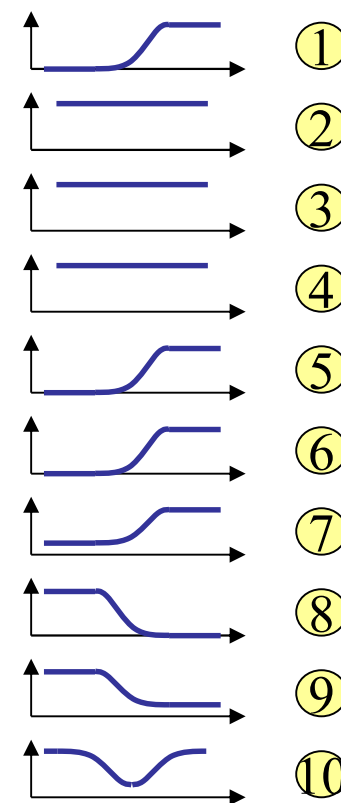
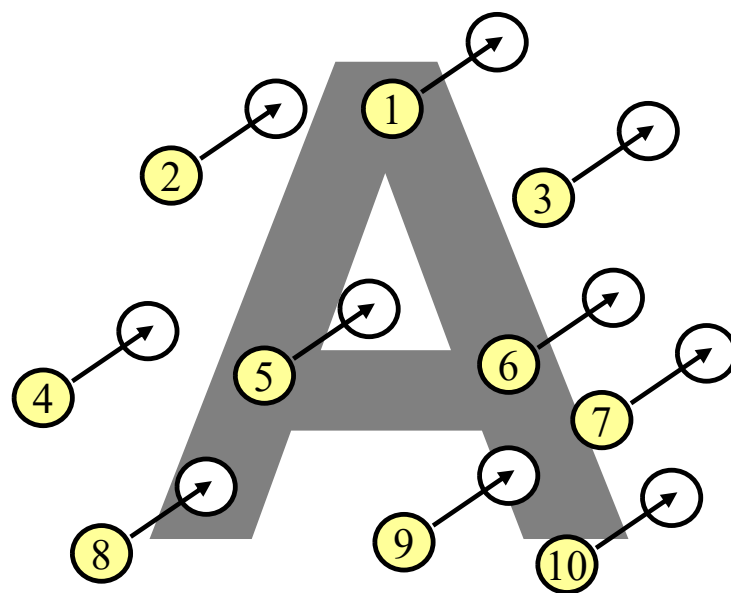
Movimentos Sacádicos

LCS
EPUSP



Mecanismo de Formação da Imagem

LCS
EPUSP

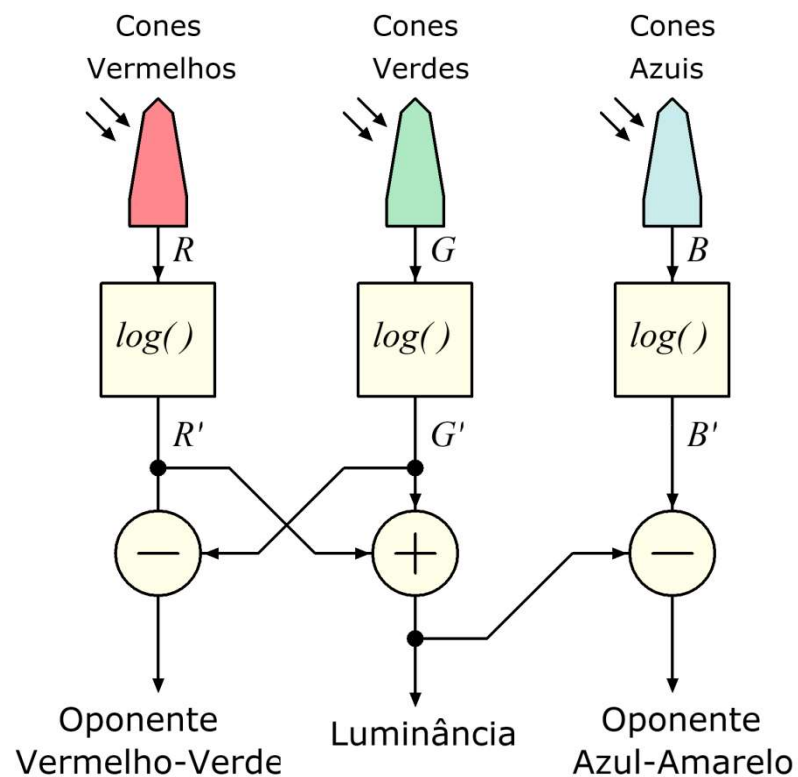


$\Delta t \approx 50$ ms

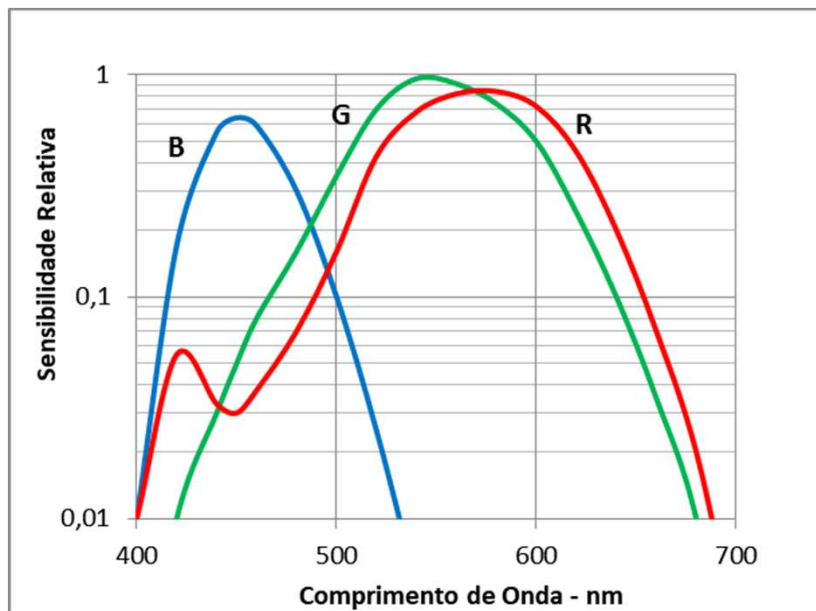
Guido Stolfi 26 / 108

- Células da retina respondem ao Logaritmo da Luminância
 - Movimentos sacádicos transformam diferenças espaciais em variações temporais
 - Fibras transmitem as variações temporais para o cérebro
 - Cérebro reconstrói a imagem integrando as variações temporais
-
- Sistema visual humano calcula a “integral da derivada do logaritmo” do estímulo

Percepção de Cores - Modelo das Oponentes



Sensibilidade Espectral da Retina



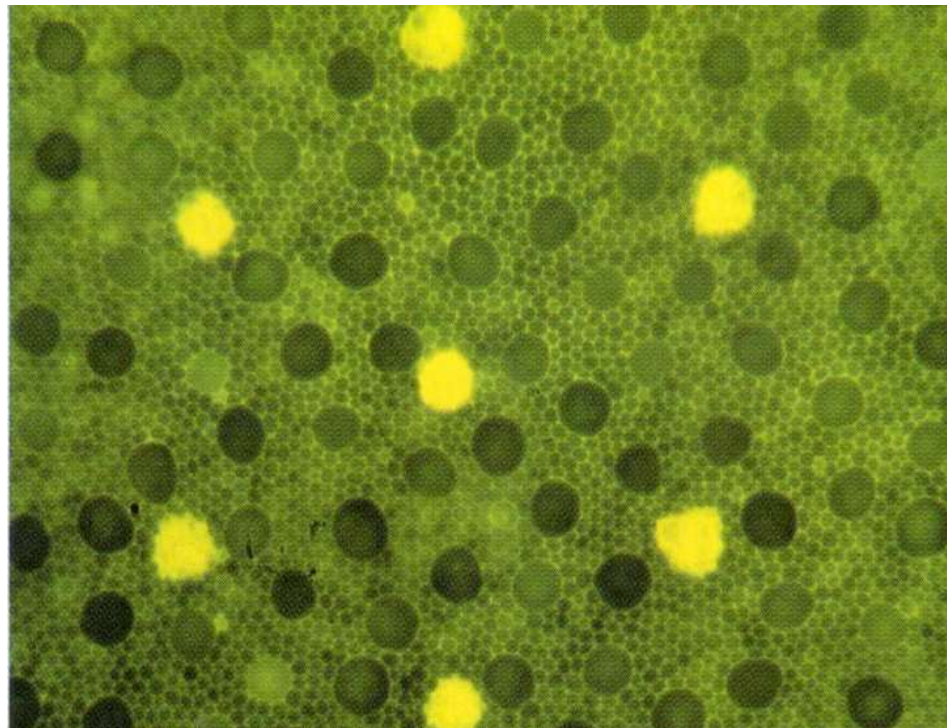
$$R = \int P(\lambda) \cdot F_R(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int P(\lambda) \cdot F_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int P(\lambda) \cdot F_B(\lambda) d\lambda$$

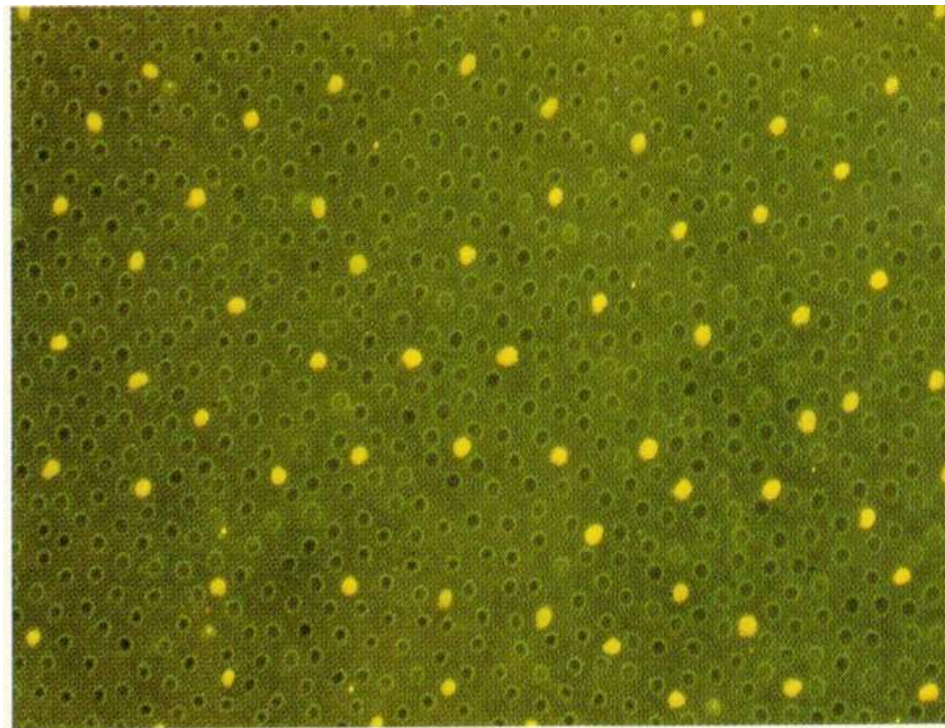
Distribuição de Cones e Bastonetes

LCS
EPUSP



Distribuição de Cones e Bastonetes

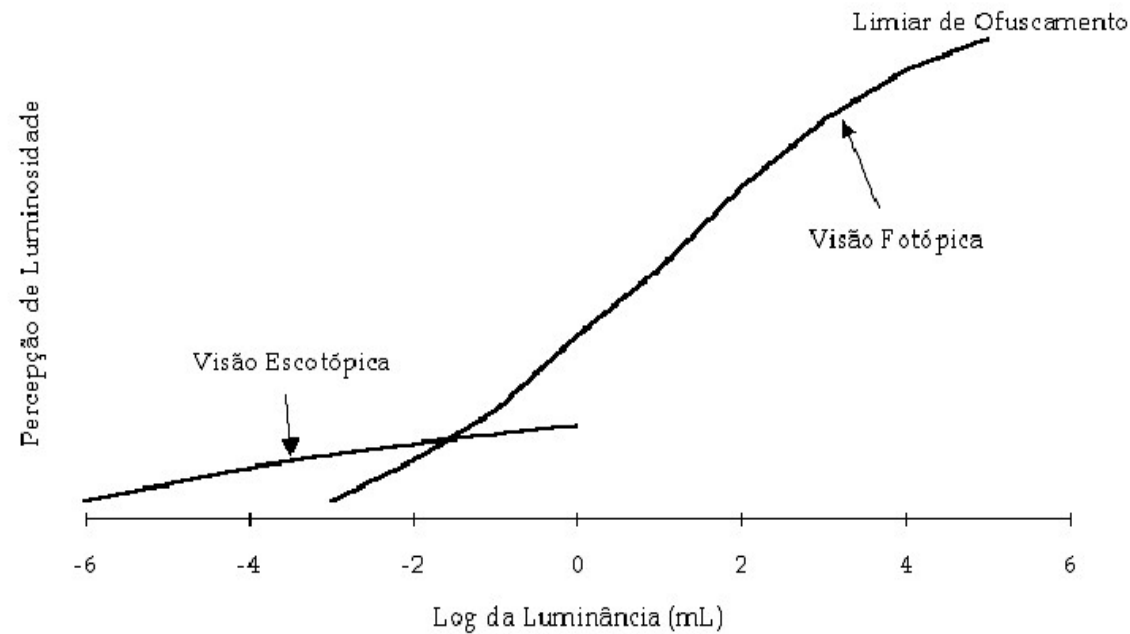
LCS
EPUSP



Características da Percepção de Intensidade

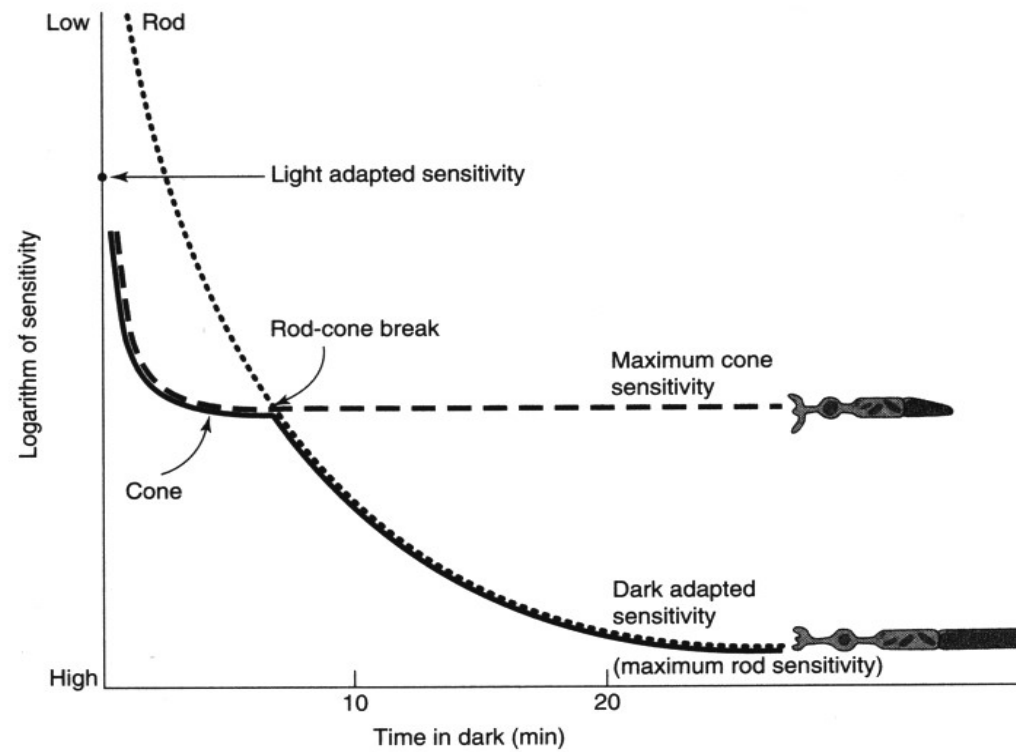
Faixa Dinâmica de Percepção de Luminosidade

LCS
EPUSP

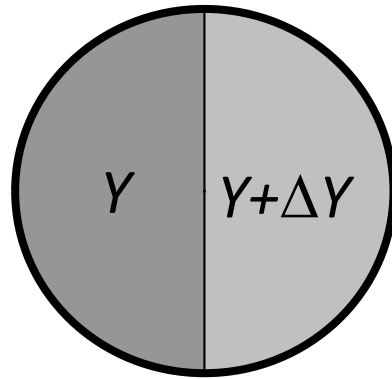


Adaptação à Luminosidade

LCS
EPUSP



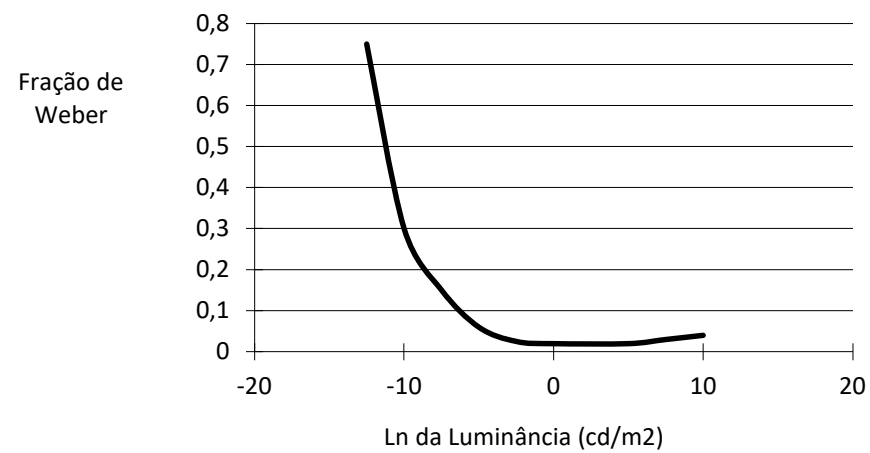
Lei de Weber para Percepção Sensorial



Diferença Apenas
Perceptível de Brilho

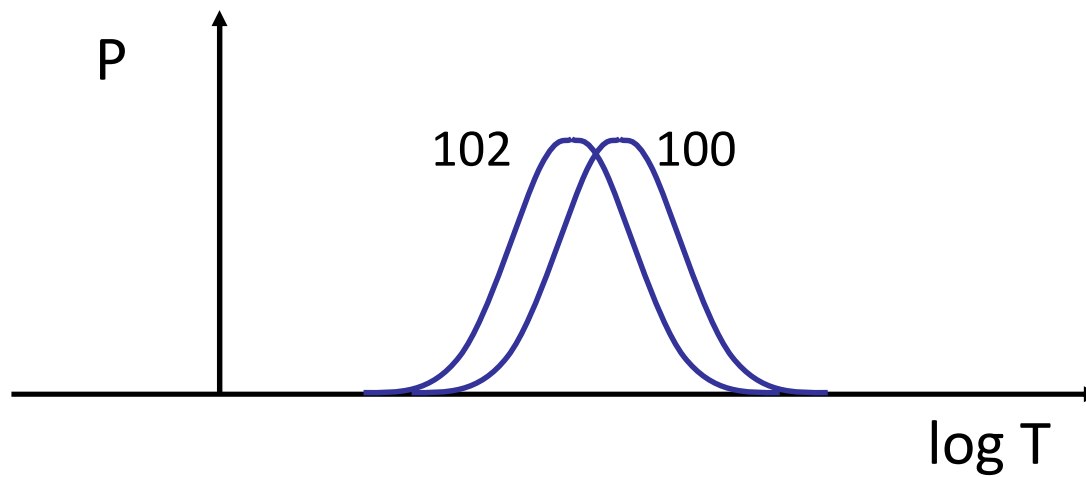
$$\Rightarrow \frac{\Delta Y}{Y} \approx 0.02 \text{ (Lei de Weber)}$$

Fração de Weber



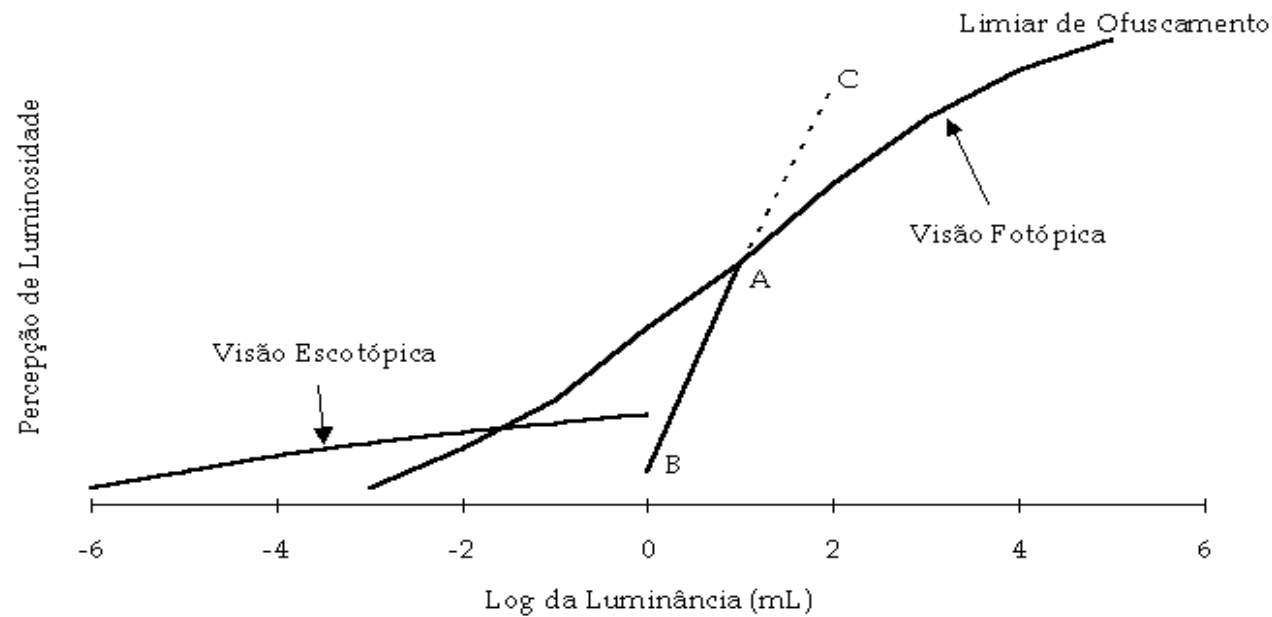
Limiar de Percepção Sensorial

LCS
EPUSP



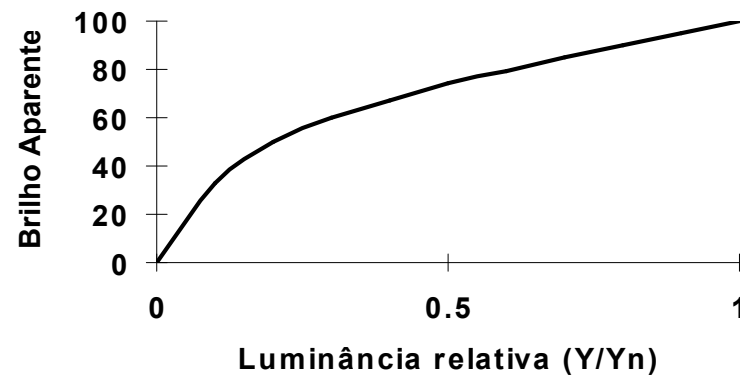
Faixa Dinâmica de Percepção de Luminosidade (Geral e Local)

LCS
EPUSP

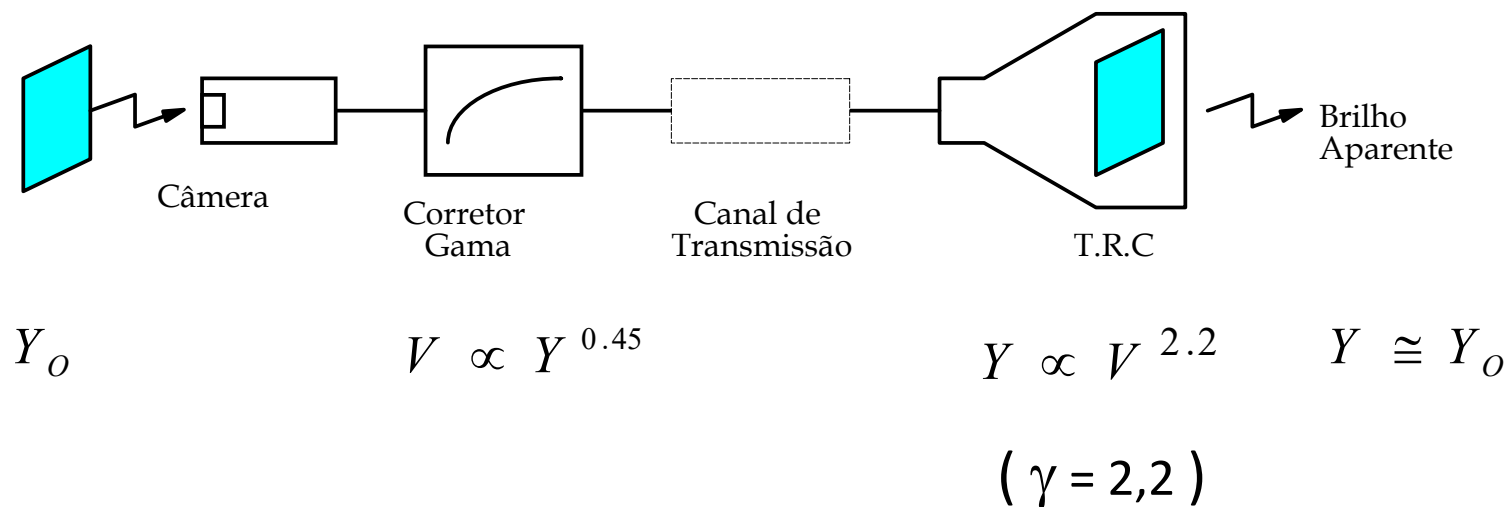


Sensação de Brilho em Torno de um Ponto de Acomodação

$$\begin{aligned} \text{Brilho Aparente} &= \begin{cases} 116(Y / Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{se } Y / Y_n > 0.008856 \\ 903.3(Y / Y_n) & \text{caso contrario} \end{cases} \\ L^* = \text{"Lightness"} & \end{aligned}$$

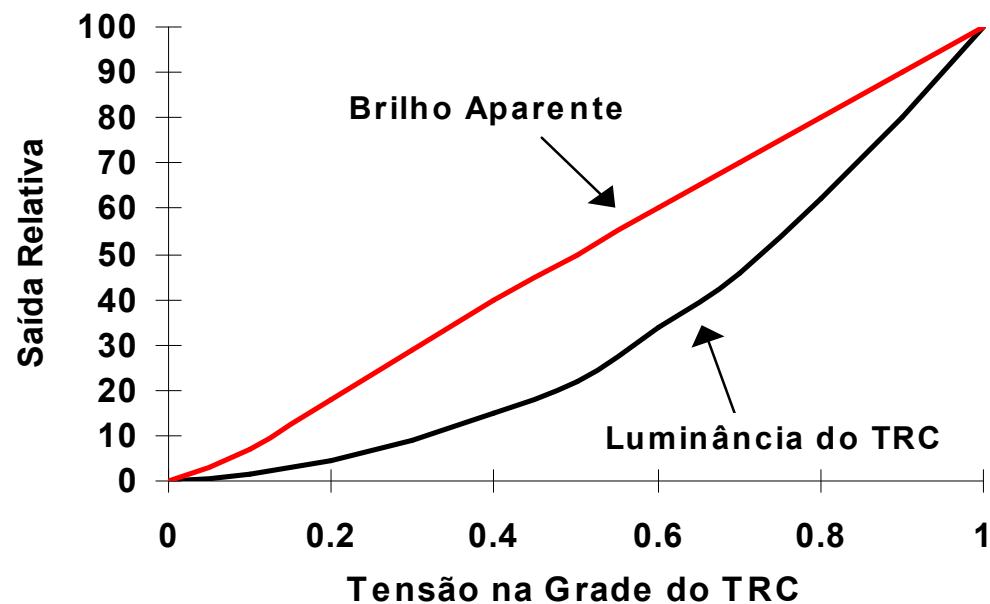


Correção Gama

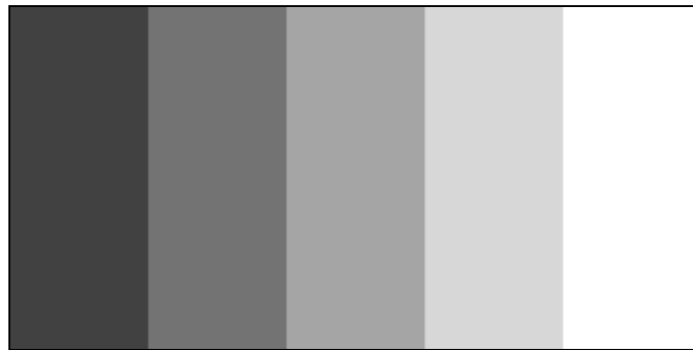


Efeito da Não-linearidade do TRC

LCS
EPUSP

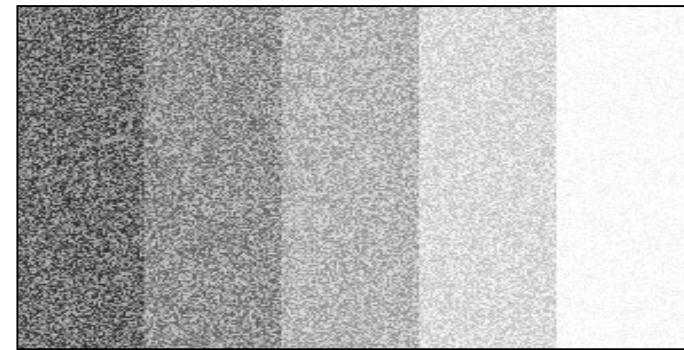


Ruído Aditivo e Correção Gama

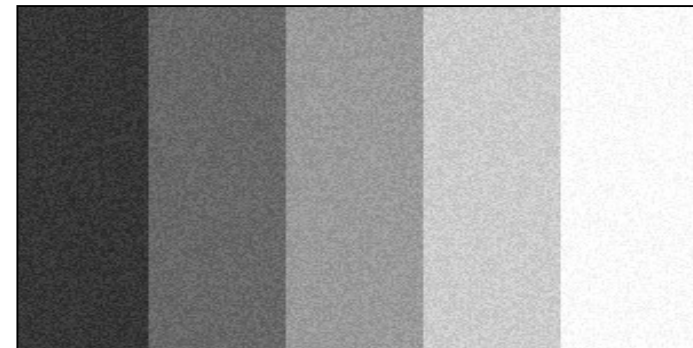


Original

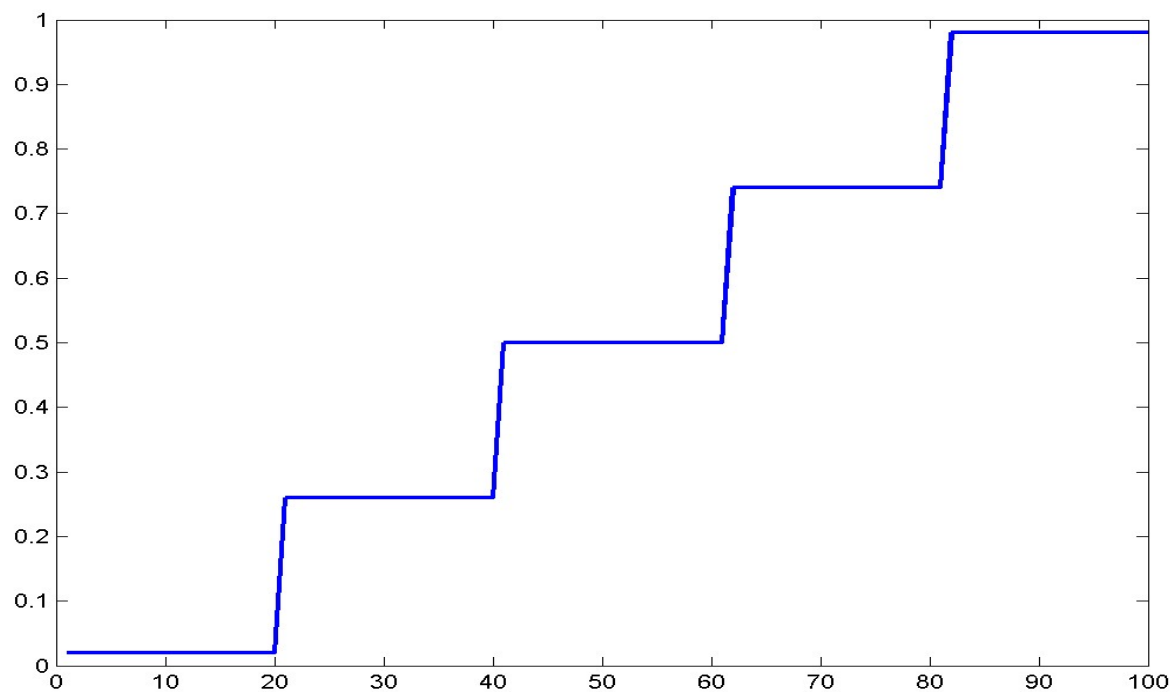
$\gamma = 1$



$\gamma = 2,2$

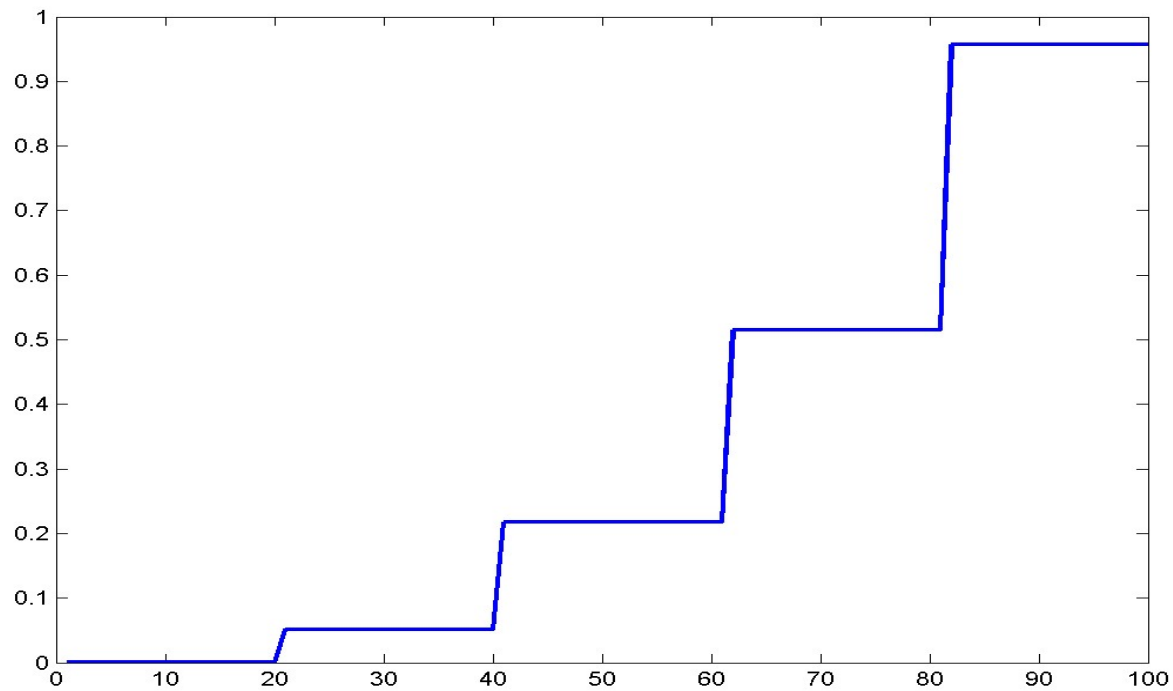


Exemplo: Sistema sem Correção Gama



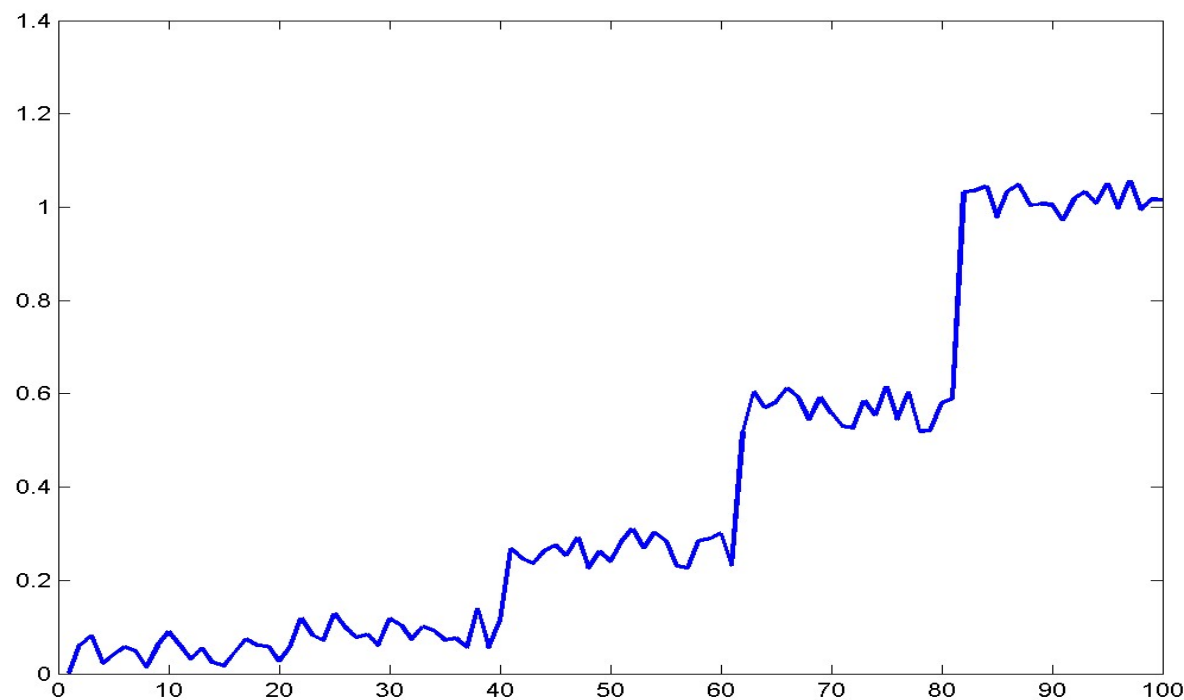
Escala uniforme de intensidades aparentes ("*Lightness*")

Exemplo: Sistema sem Correção Gama



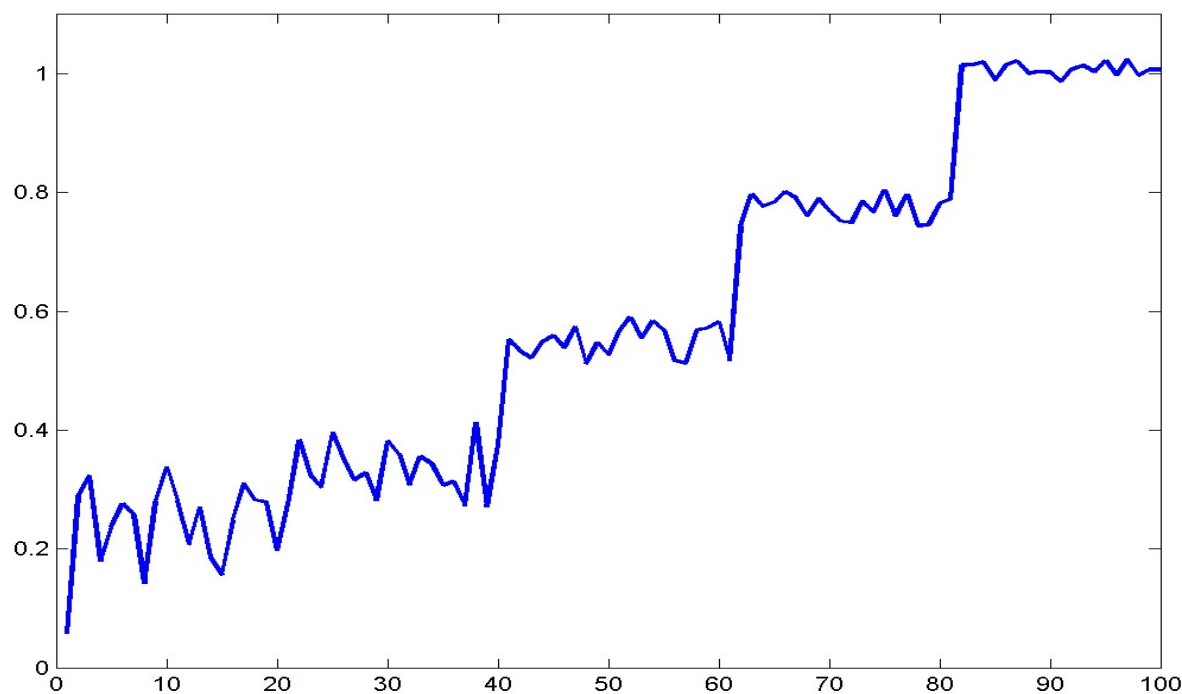
Luminância correspondente à escala uniforme

Exemplo: Sistema sem Correção Gama



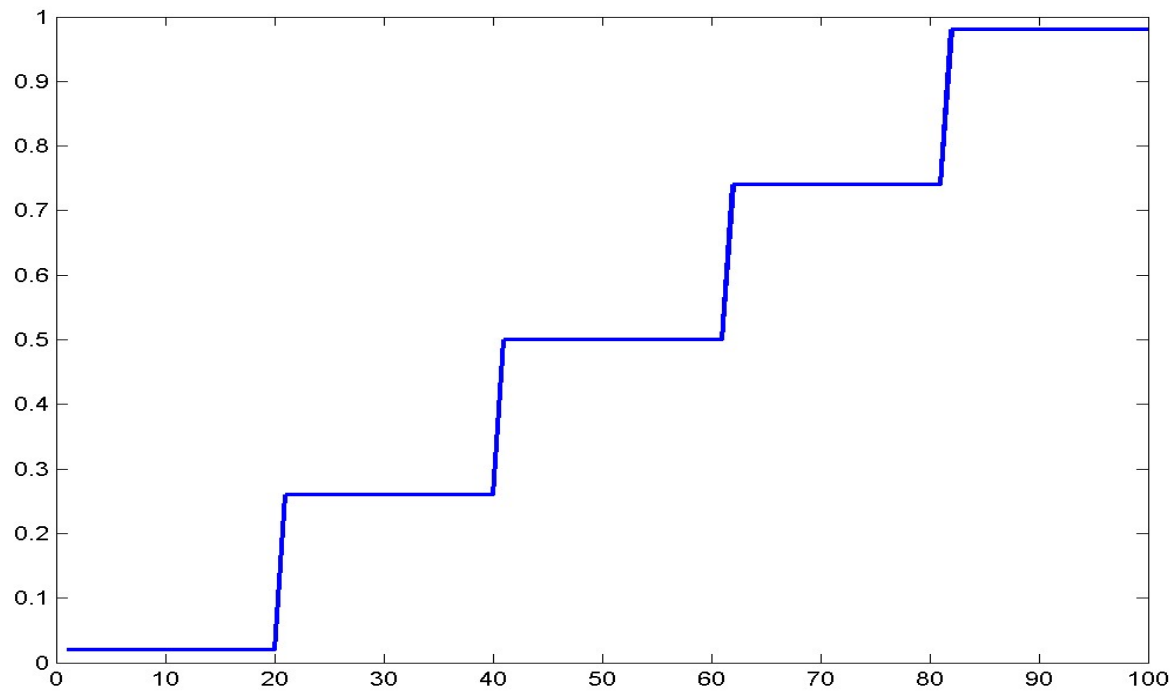
Sinal proporcional à Luminância sujeito a ruído aditivo

Exemplo: Sistema sem Correção Gama



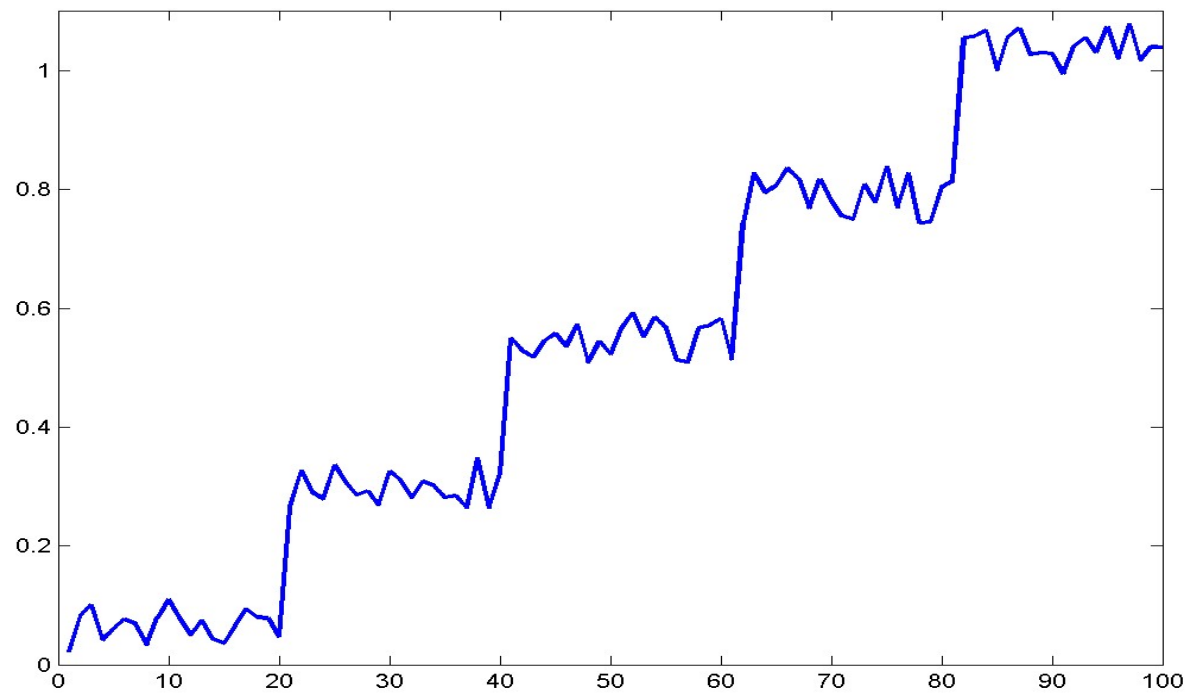
Percepção visual do sinal sujeito a ruído aditivo

Exemplo: Sistema com Correção Gama



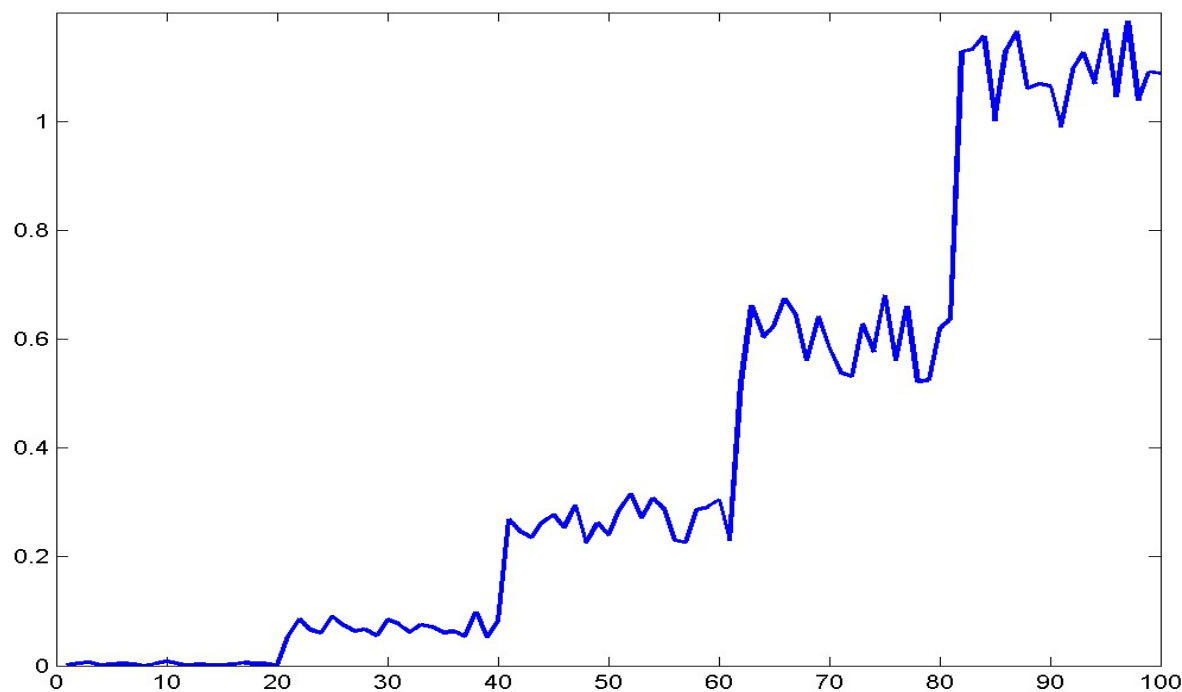
Escala uniforme de intensidades aparentes (“*Lightness*”)

Exemplo: Sistema com Correção Gama



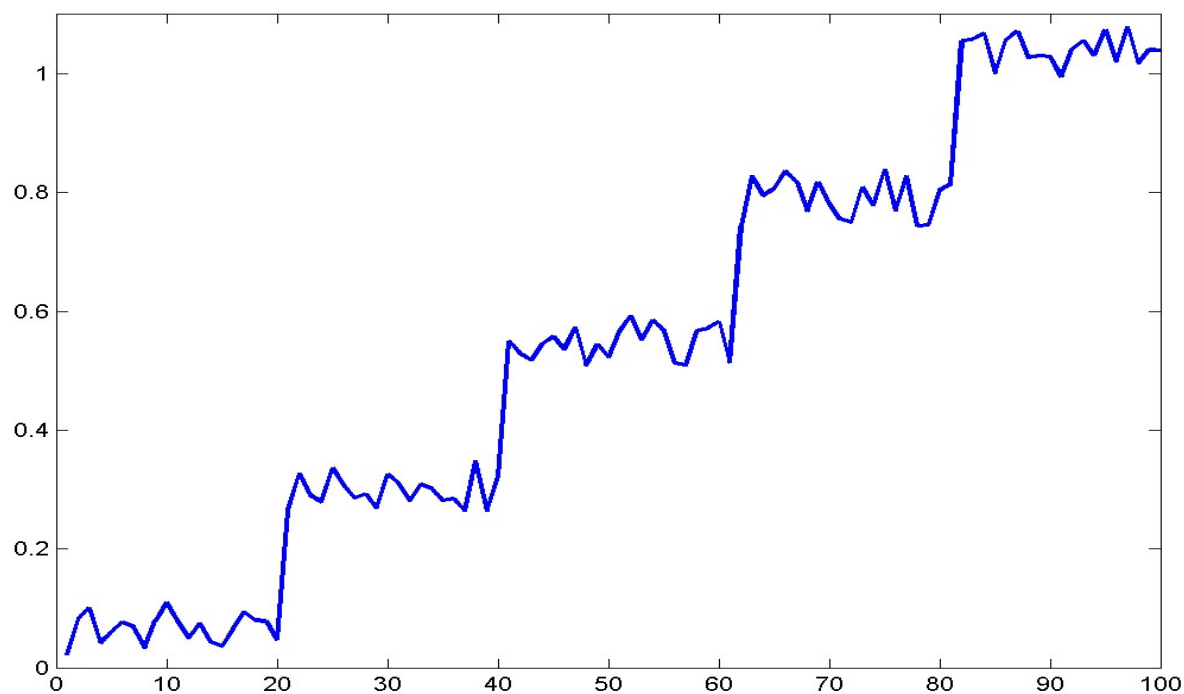
Sinal proporcional à Luminosidade aparente, com ruído aditivo

Exemplo: Sistema com Correção Gama



Luminância reconstruída a partir do sinal com ruído

Exemplo: Sistema com Correção Gama

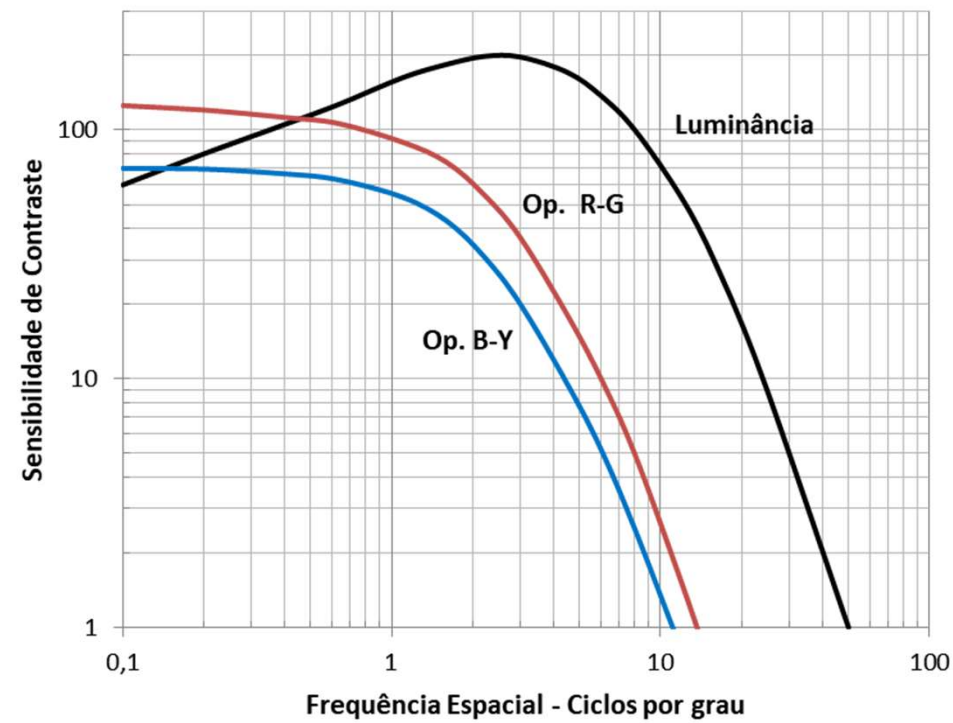


Percepção visual final do sinal sujeito a ruído aditivo

Características da Resolução Espacial

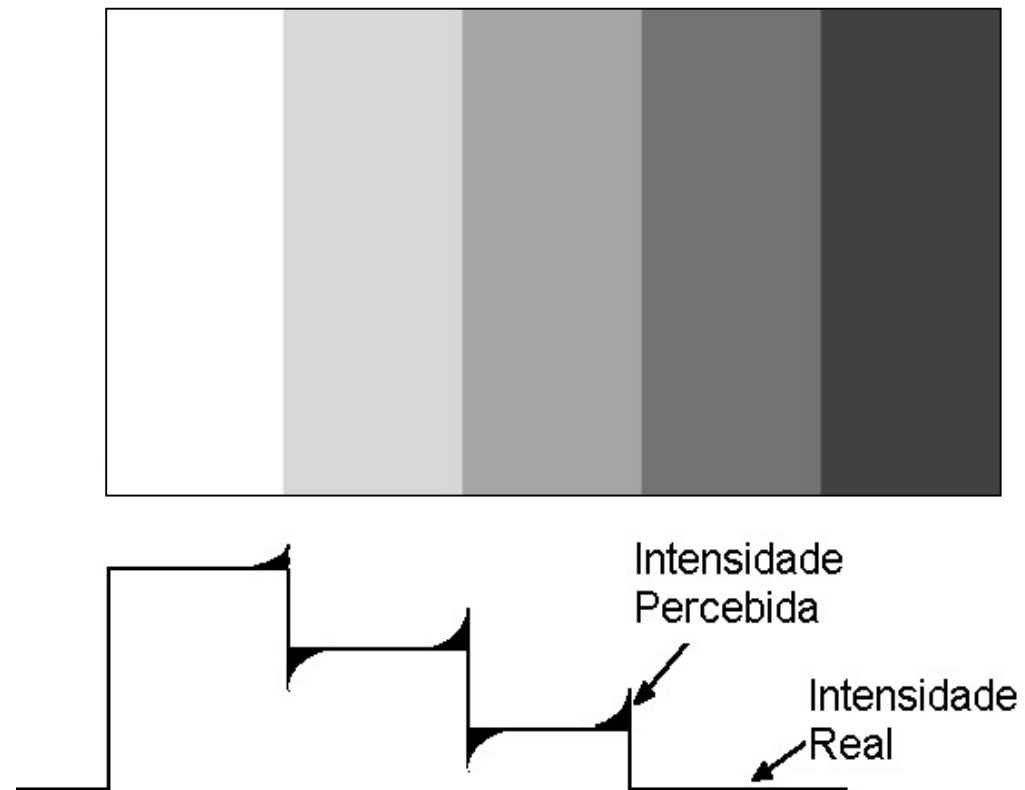
Resolução Espacial da Visão

LCS
EPUSP



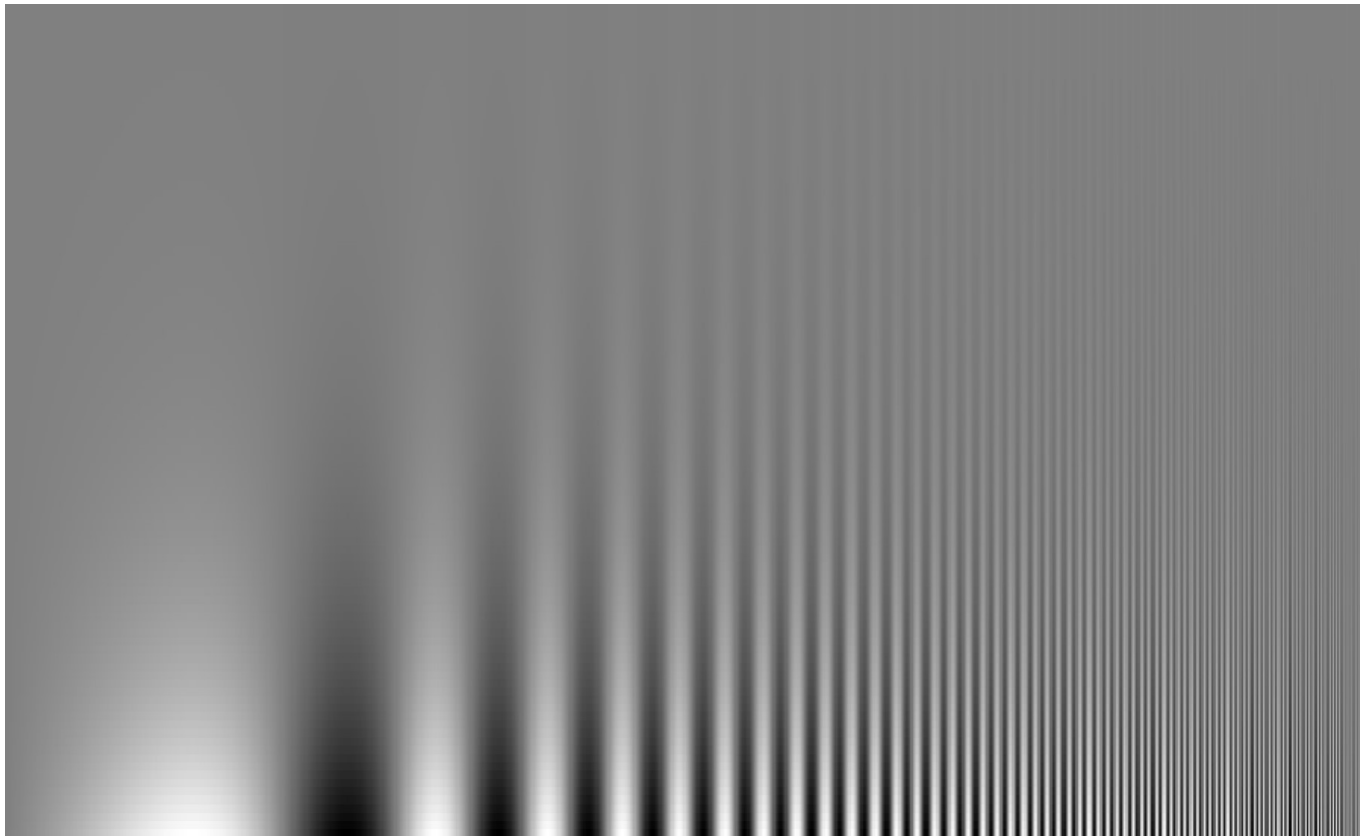
Bandas de Mach

LCS
EPUSP



Carta de Campbell

LCS
EPUSP



Frequências Relevantes na Visão

180°, it was found that
direction for food, and
t to fend for themselves.
s with chickens wearing
ges, but shifted them by
chickens would always
ver adapted to the shift
s concluded:

4,2 mm = 1,2 ciclos/grau

1,5 mm = 3,5 ciclos/grau

0,15 mm = 17 ciclos/grau

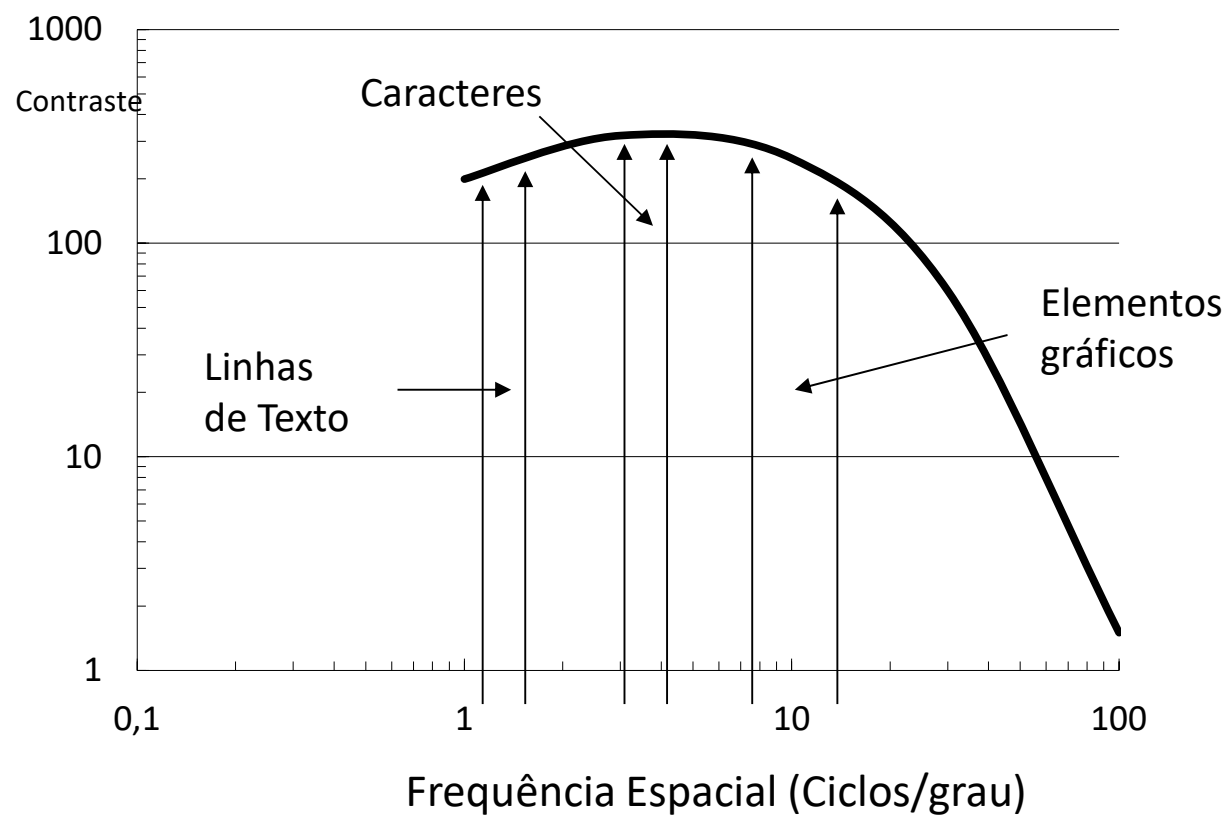
0,35 mm = 7,5 ciclos/grau



1,2 mm = 4,3 ciclos/grau

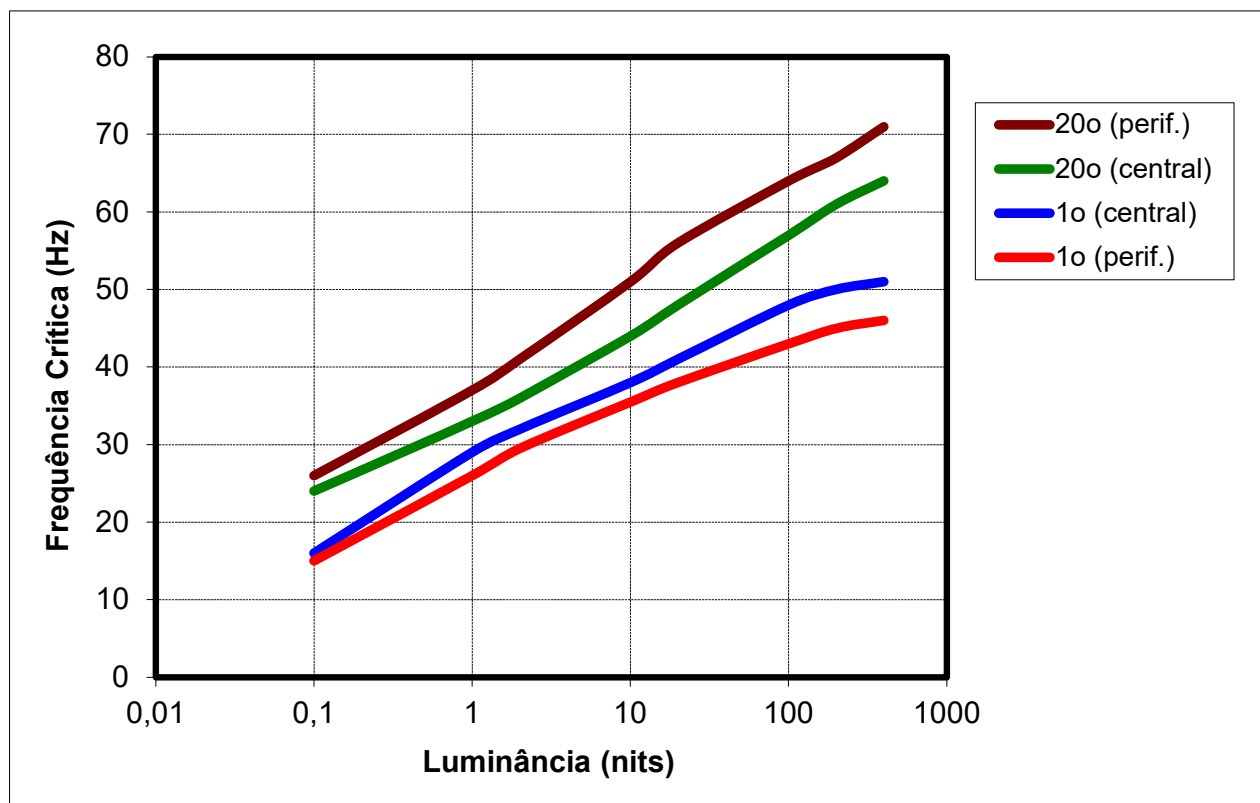
(d = 300 mm)

Frequências Relevantes na Visão

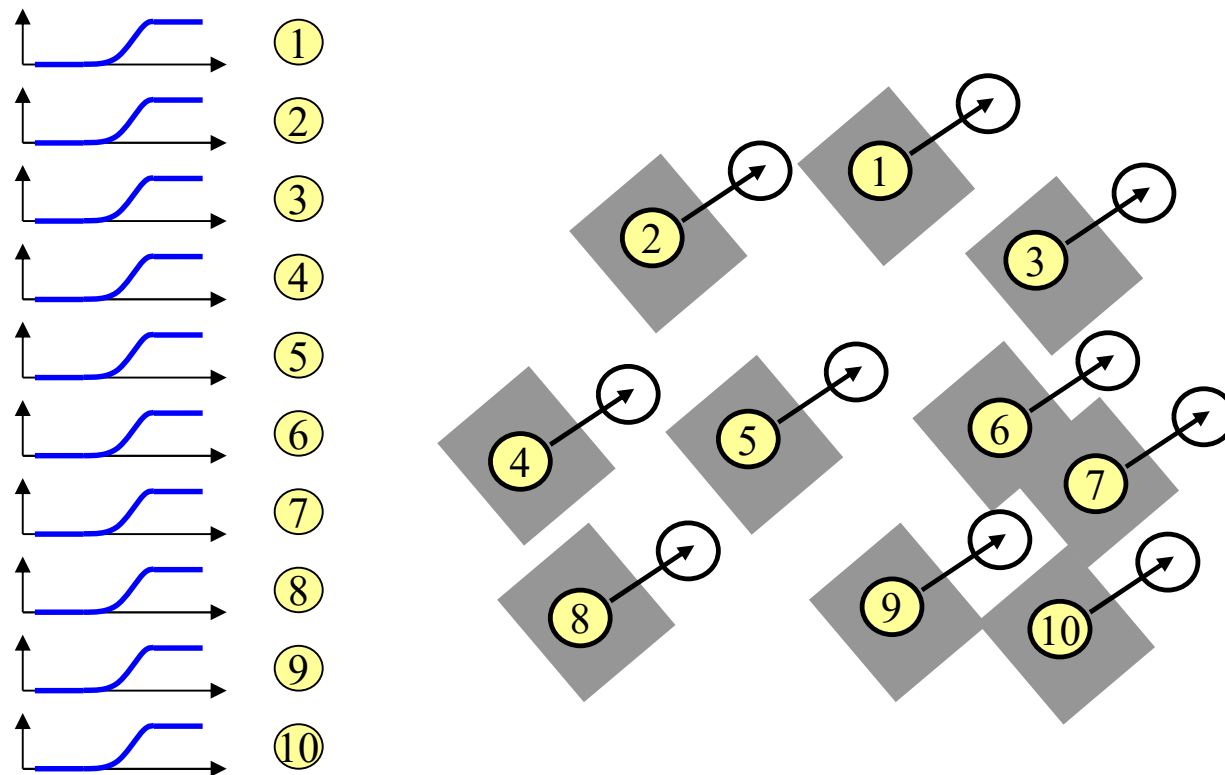


Resolução Temporal e Cintilação

Percepção de Cintilação

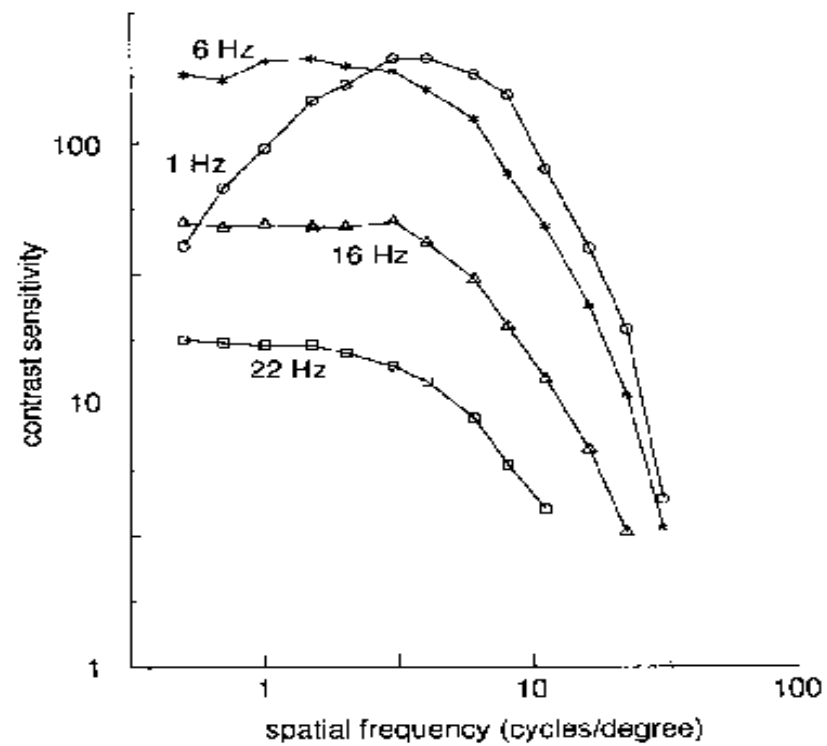


Formação da Imagem com Cintilação



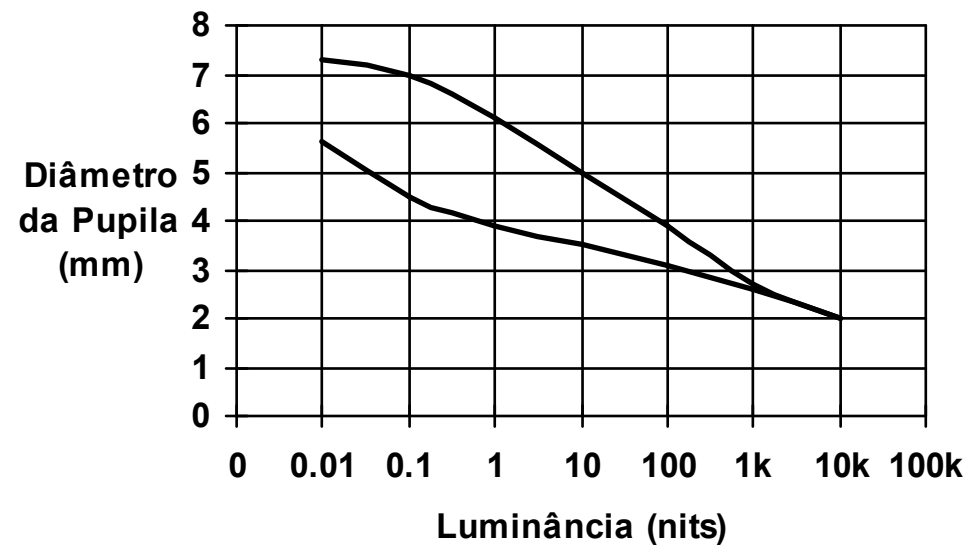
Sensibilidade à Cintilação de Detalhes

LCS
EPUSP



Diâmetro da Pupila x Luminosidade Ambiente

LCS
EPUSP



Luminância x Cintilação

Luminância da Tela (Nits)	Área da Pupila (mm ²)	Iluminamento Retinal (Trolands)	Frequência Crítica p/ 10° (Hz)	Frequência Crítica p/ 70° (Hz)
10	10.75 ~ 19.63	215 ~ 392	48.4 ~ 54.4	60.6 ~ 66.9
30	9.08 ~ 15.21	544 ~ 912	57.6 ~ 62.8	70.2 ~ 75.5
100	8.04 ~ 11.34	1608 ~ 2268	68.9 ~ 71.9	81.8 ~ 84.9
300	7.07 ~ 9.62	4242 ~ 5772	78.2 ~ 81.3	91.4 ~ 94.6
1000	6.16	12320	88.9	102.4
3000	4.52	27120	96.7	110.5
10000	3.14	62800	105.1	119.2

Relação entre Luminância da Tela de Monitores de Vídeo e Frequências Críticas de Cintilação, para 95% da População (ISO/TC159/1987) - Campos de Visão de 10 e 70 graus

- Cintilação de 60 Hz é responsável pelo sucesso da Televisão?

Percepção de Movimento

Movimento Retinal

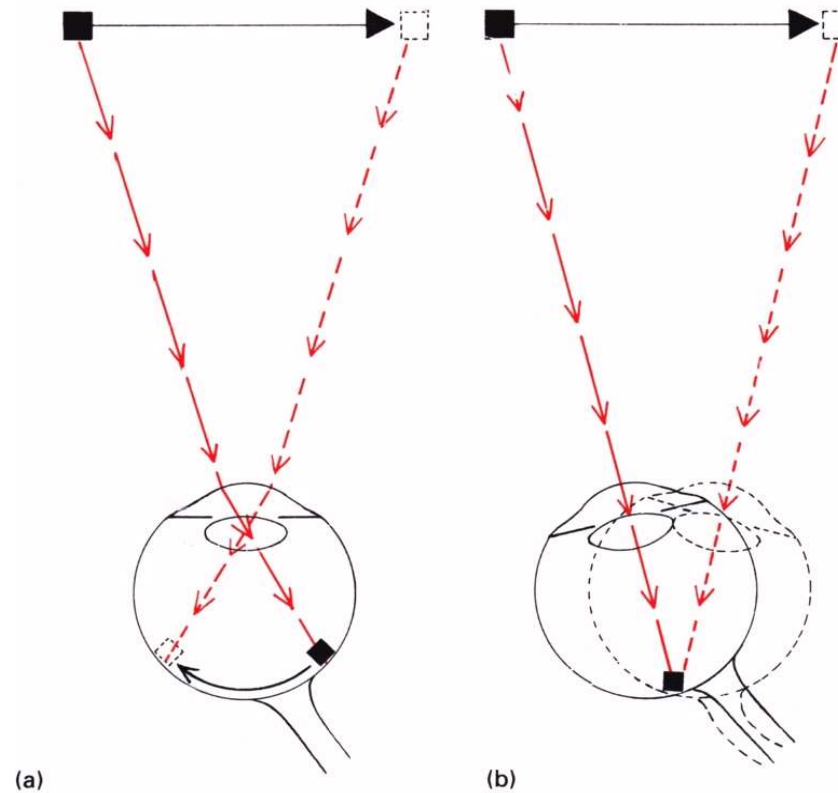
- Imagem do objeto se move em relação à retina
- Sujeita às características temporais da visão
- Baixa definição espacial, visão periférica

- Rastreamento Ocular

- Olho acompanha a trajetória do objeto
- Sujeita às características espaciais da visão
- Alta definição espacial, visão central

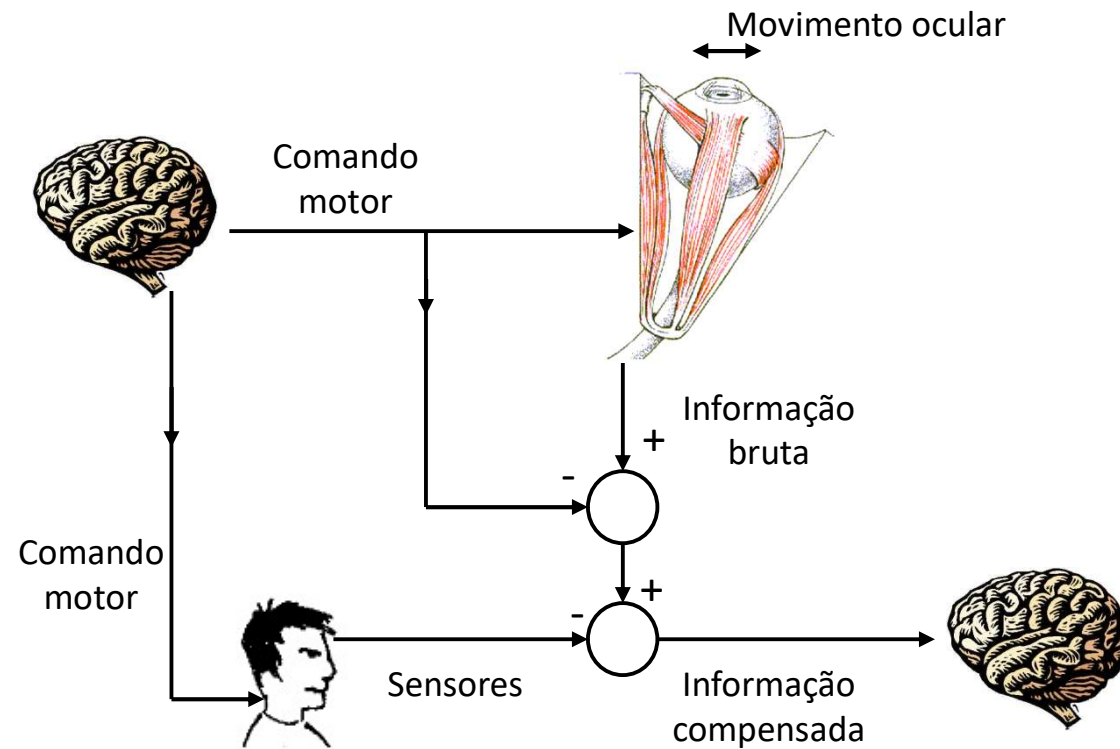
Movimento Retinal e Rastreamento Ocular

LCS
EPUSP



Mecanismos de Compensação do Movimento Ocular

LCS
EPUSP

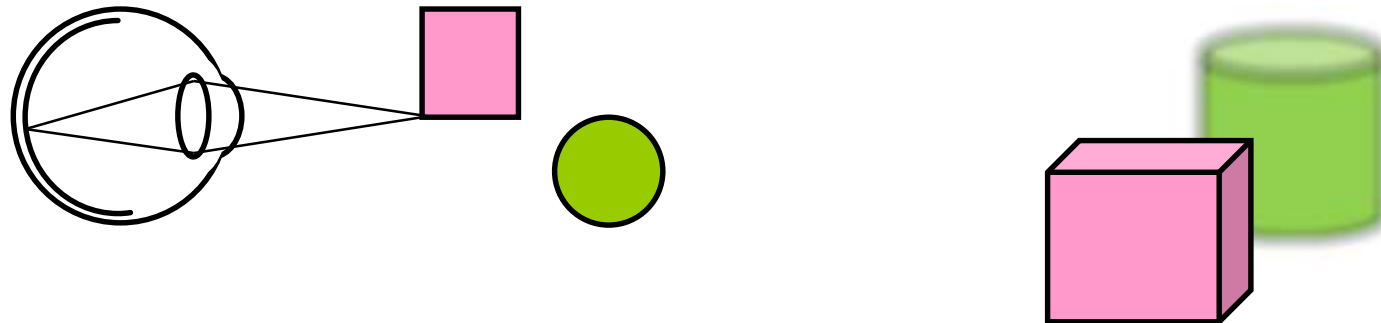


Percepção de Distância

- Foco Ocular (Acomodação)
- Visão Binocular (Disparidade)
- Paralaxe de Movimento
- Fator de Escala
- Texturas
- Saturação

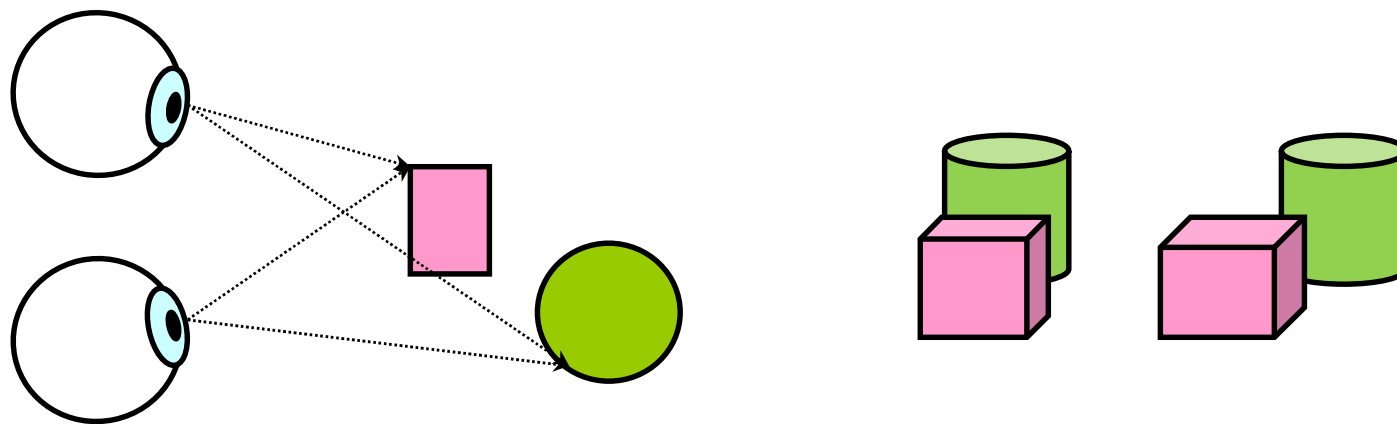
Foco Ocular (Acomodação do Cristalino)

- Informação intensa para curtas distâncias ($< 1\text{m}$)



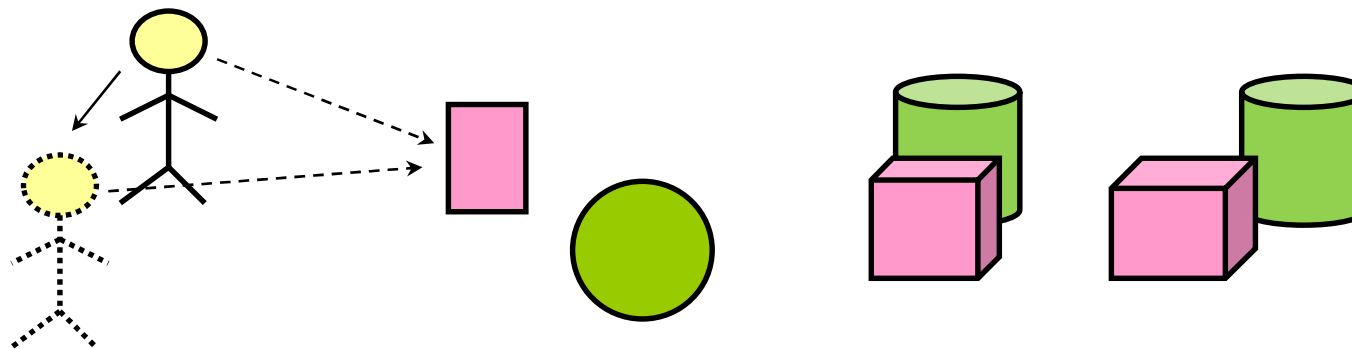
Visão Binocular (Disparidade)

- Informação fortíssima para curtas distâncias (dentro do alcance físico); decresce até distâncias médias (< 100 m)



Paralaxe de Movimento

- Depende da amplitude do movimento; em condições de visualização normal é intensa para distâncias curtas (< 10 m)



- Forte para qualquer distância (centímetros a quilômetros); depende de aprendizado



1m



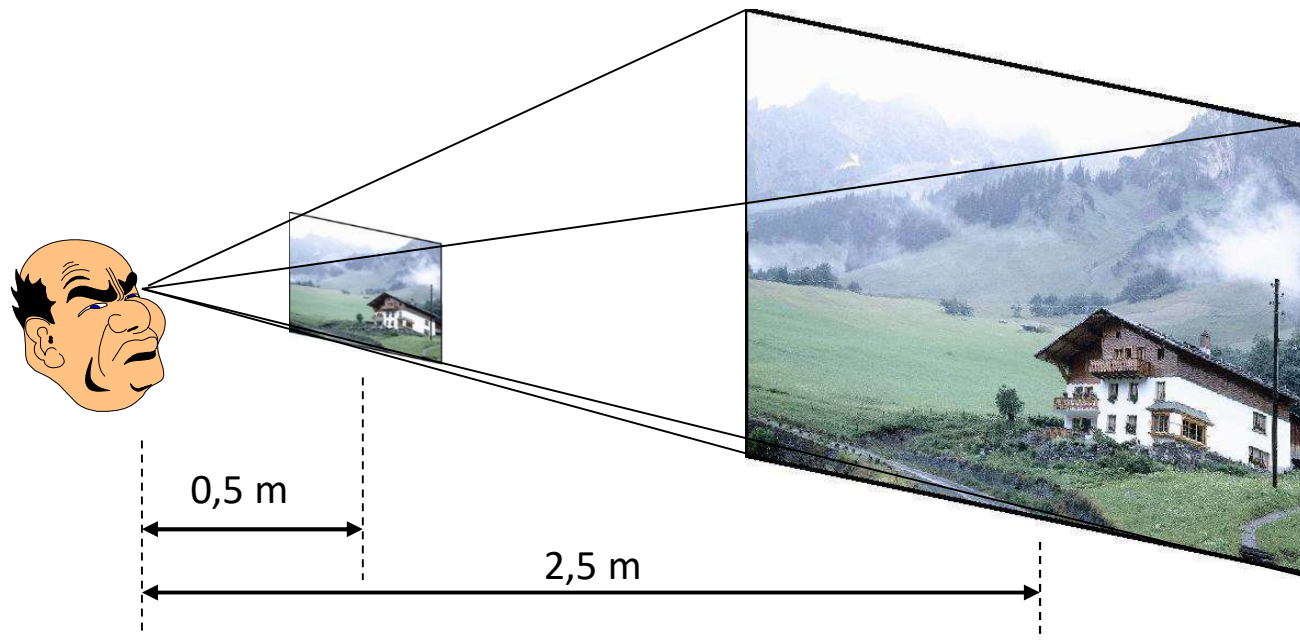
500m

- Estimativa razoável para distâncias longas (até vários km)



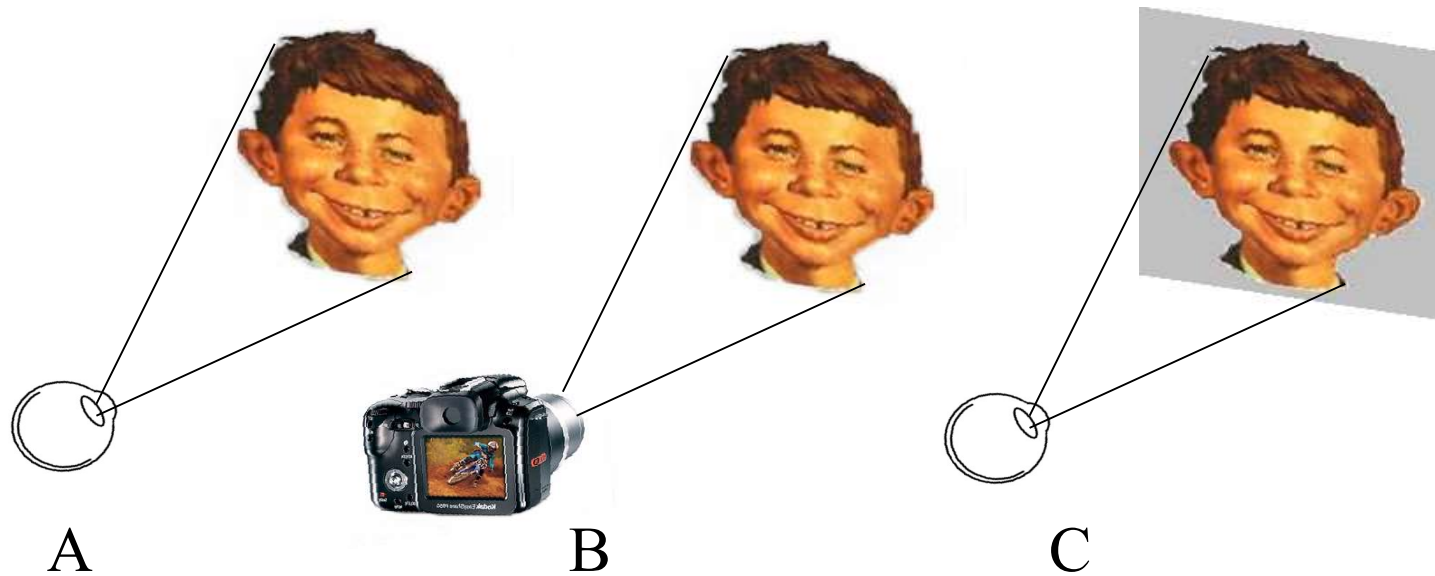
Diferenças na Percepção de Distâncias

LCS
EPUSP



Compensação da Distorção de Perspectiva

LCS
EPUSP



Distorção de Perspectiva

LCS
EPUSP



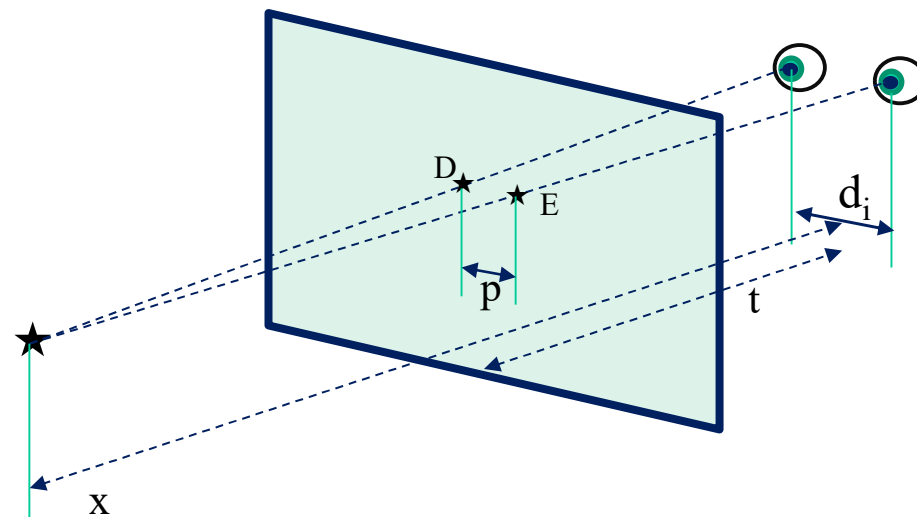
A



B, C

- A Televisão do Futuro será em 3 dimensões?

- Hipótese: a disparidade (visão binocular) é o processo fundamental de determinação de distância.
- Método: cada olho recebe uma imagem diferente
- Tecnologias mais comuns:
 - Óculos e tela com polarização
 - Óculos com obturador sequencial sincronizado
 - Auto-estereoscopia



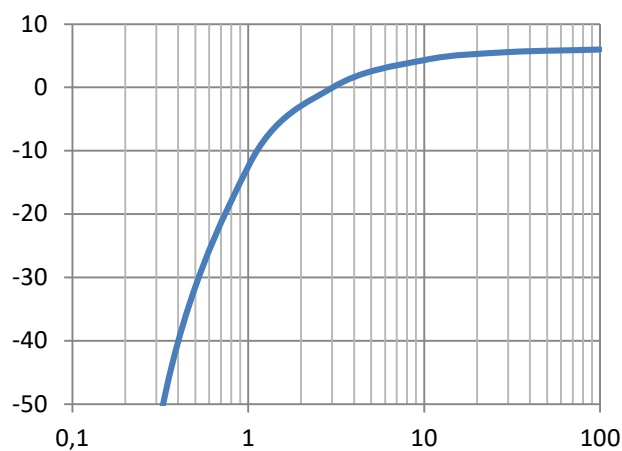
$$p = d_i \cdot \frac{x - t}{x}$$

$$y' = t \cdot \frac{d_i}{d_i - p}$$

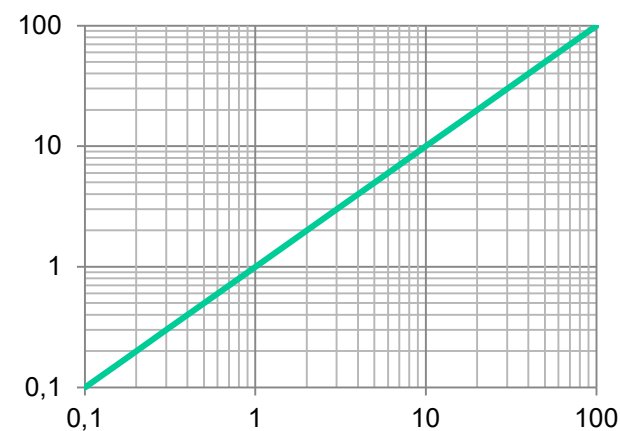
$$p = d_i \cdot \frac{x - t}{x}$$

- p = paralaxe na tela da TV
- d_i = distância interocular (~ 62 mm)
- x = distância do objeto ao observador
- t = distância da tela ao observador

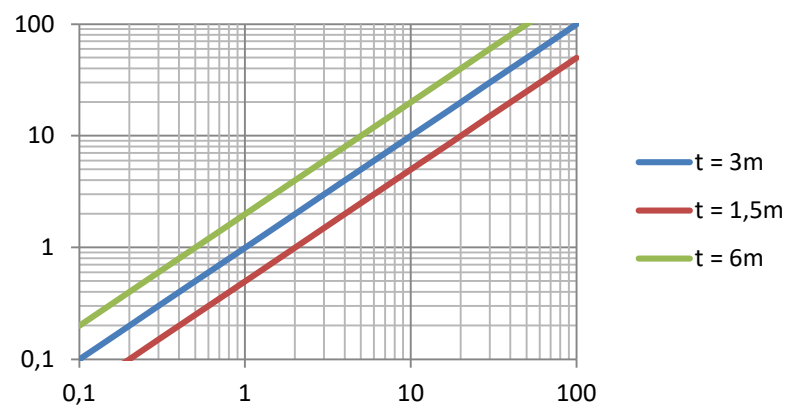
- $p = 0 \rightarrow$ objeto está na distância t (sobre a tela)
- $p = d_i \rightarrow$ objeto está no infinito
- $p < 0 \rightarrow$ objeto entre a tela e o observador ($x < t$)



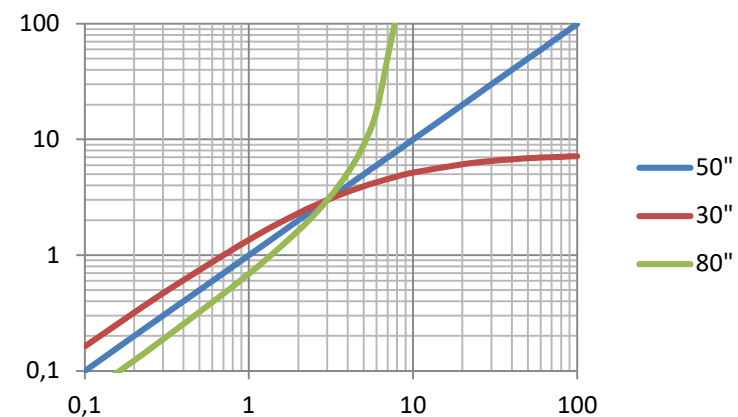
Paralaxe p na tela (cm) em
função da distância x do objeto
($t = 3$ m)



Distância percebida x' (m) em
função da distância x do objeto
($t = 3$ m)



Efeito da variação da
distância t do observador

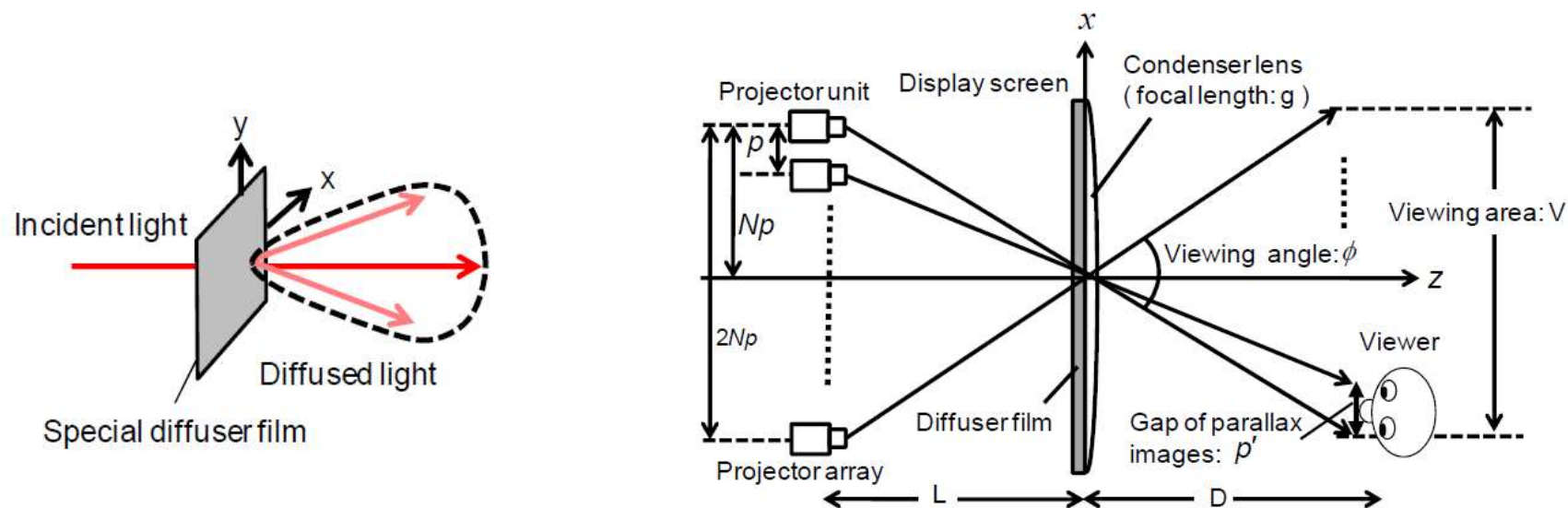


Efeito da variação do
tamanho da tela (em
referência a 50")

- Hipótese revisada: Paralaxe de Movimento é o mecanismo que calibra a percepção de distância
- Métodos que não iludem a Paralaxe de Movimento provocam conflitos perceptuais no cérebro
- 3D no Cinema é aceitável devido à distância entre a tela e o espectador, mas não tem calibração

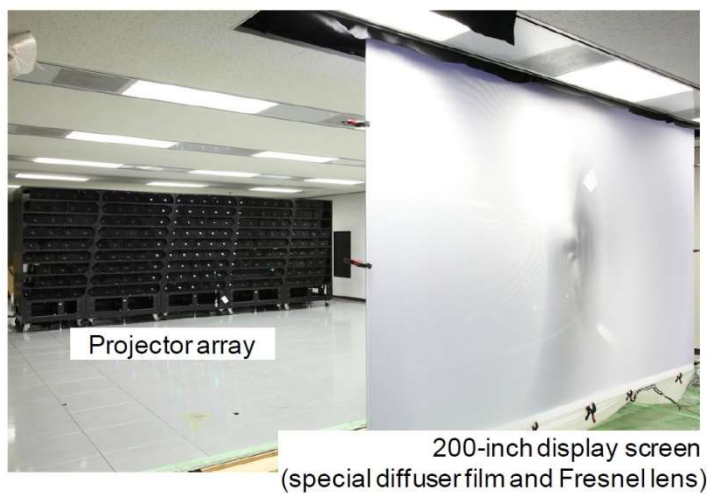
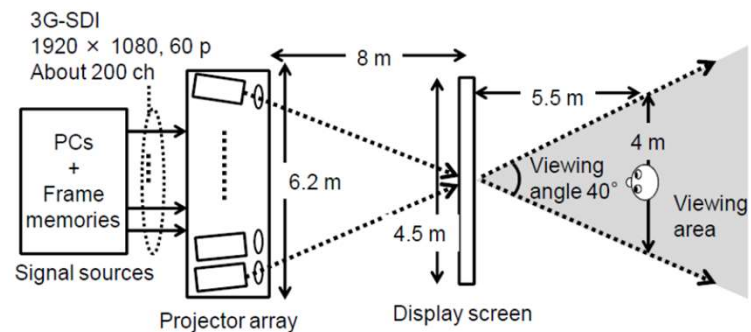
Televisão 3D

- Método que ilude a Paralaxe de Movimento:
 - Multiprojeção em Tela com lentes cilíndricas horizontais
(National Institute of Information and Communication Technology – Kyoto, Jp.)

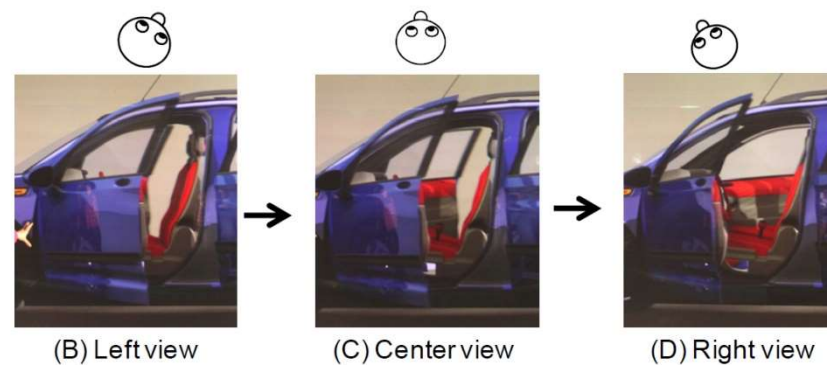


Televisão 3D

LCS
EPUSP



(A) Displayed 3D image (Computer graphics of a life-size car)



Televisão 3D

- Realidade Virtual:
 - Pode iludir paralaxe de movimento (imagens artificiais)
 - Não ilude acomodação ocular
 - Não precisa iludir visão binocular
 - Pode gerar incompatibilidade com percepção física



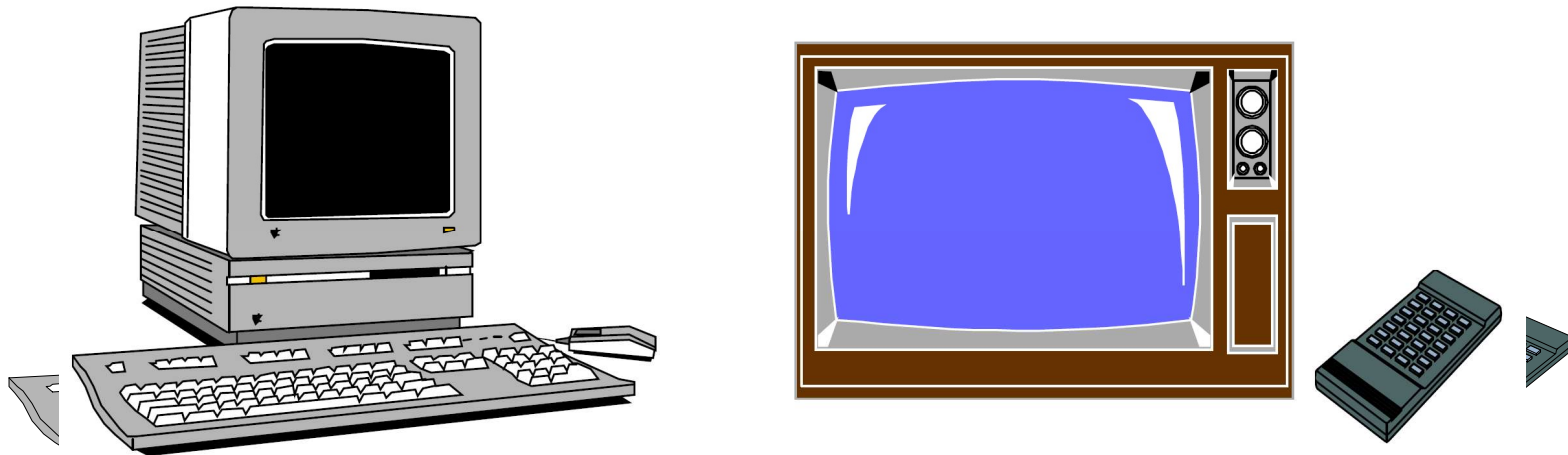
- Televisão e Cinema sempre foram 3D:
 - Texturas e Saturação
 - Fator de Escala
 - Paralaxe de Movimento (!!)

- “Dentro de 3 anos não teremos mais aparelhos de TV, apenas computadores com telas de alta qualidade e programação digital, recebendo ABC, NBC, HBO, BBC e qualquer coisa que pudermos imaginar.”

(Andrew Lippman – Diretor, MIT Media Lab - 1989)

PC x TV Digital: Elementos Comuns

LCS
EPUSP



- “Display” (Cinescópio, LCD etc.)
- Processamento Digital
- Som
- Controle (“data entry”)

PC x TV Digital: Elementos Divergentes

- Televisão: Janela para o mundo

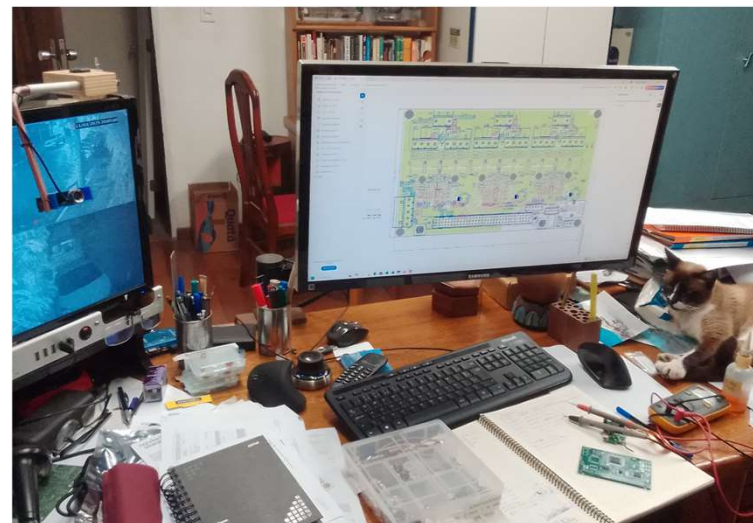
- Imagens reais
- Entretenimento
- Ilusão de realidade
- Receptividade
- Coletividade
- Escuro

- PC: Mesa de Trabalho

- Imagens artificiais
- Leitura / escrita
- Criação / desenho
- Interação
- Interpretação
- Individualidade
- Claro

Interatividade

- Manipulação de Documentos e ideias
- Interatividade, análise e criação de informação textual e visual
- Distâncias e luminâncias uniformes
- Metáfora: Mesa de Trabalho



Entretenimento Audiovisual

- Percepção de realidade virtual obtida através da ilusão dos sentidos (visão e audição), por imagens em movimento
- Iluminação reduzida, ausência de referencias espaciais
- Metáfora: Janela para o Mundo



- “In France, watching traditional TV remains hugely popular with people who just want a ‘lean back’ experience where they don’t have to choose shows. Maybe you’re not in the mood to decide, or you’re new and finding your way around, or you just want to be surprised by something new and different”

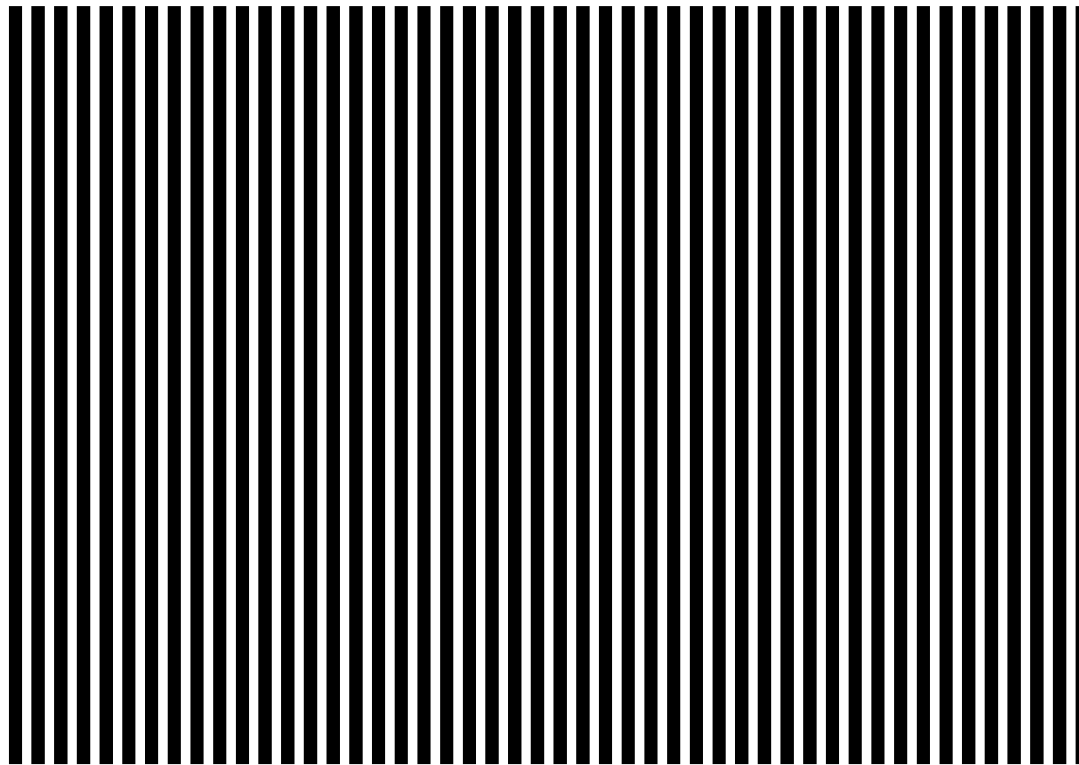
Netflix, 11/2020

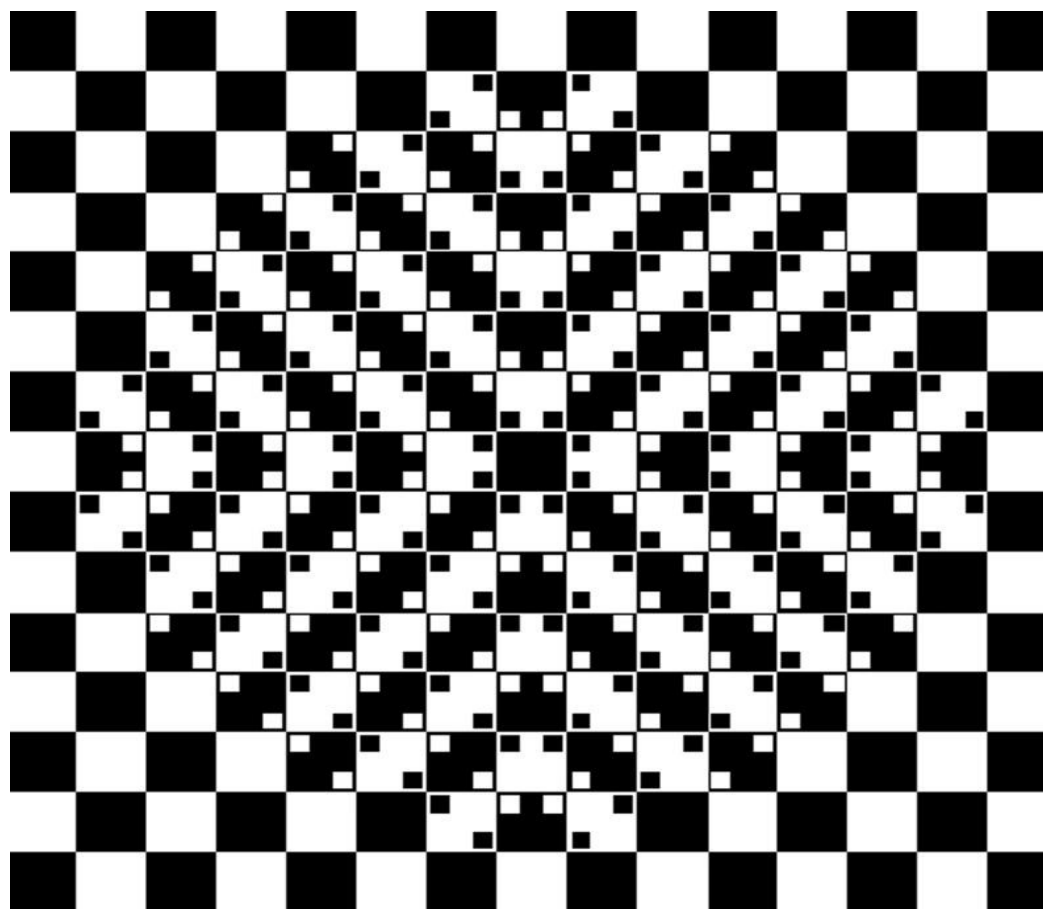
Ilusões Ópticas

- Quando a percepção entra em contradição com a realidade física
- Estudo dos mecanismos da percepção visual
- Ilusões fisiológicas (intrínsecas) e cognitivas (culturais)
- Teste de hipóteses

Irregularidades do Campo Visual

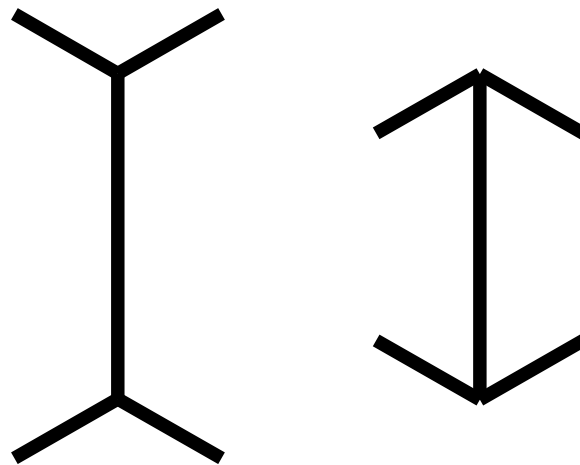
LCS
EPUSP





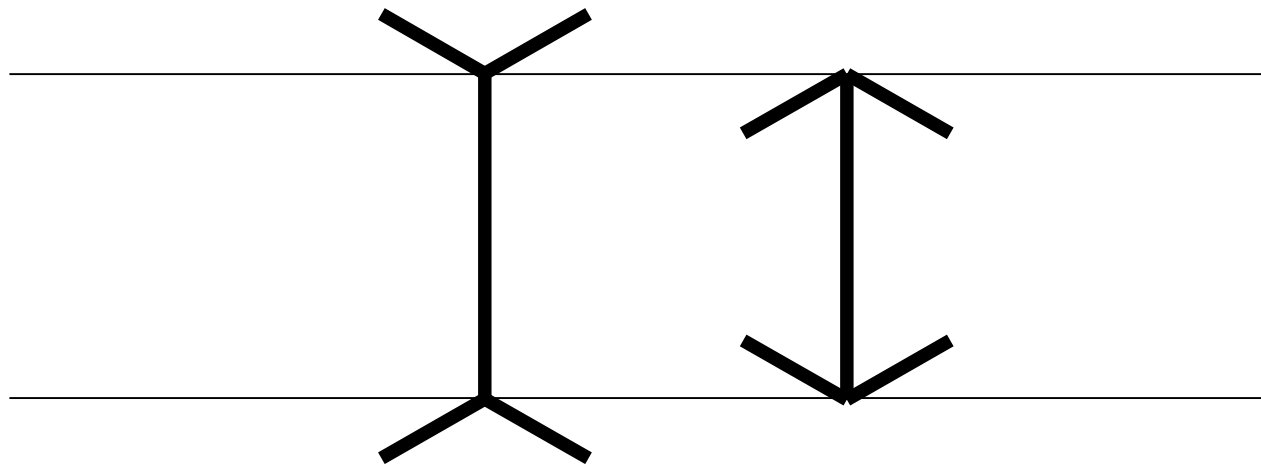
Ilusão de Muller-Lyers

LCS
EPUSP



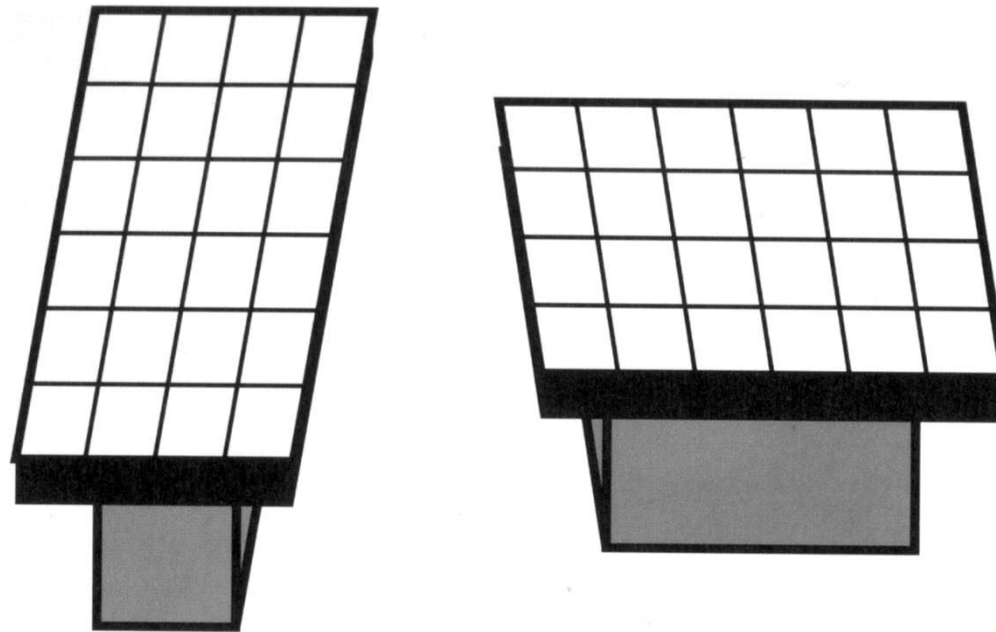
Ilusão de Muller-Lyers

LCS
EPUSP



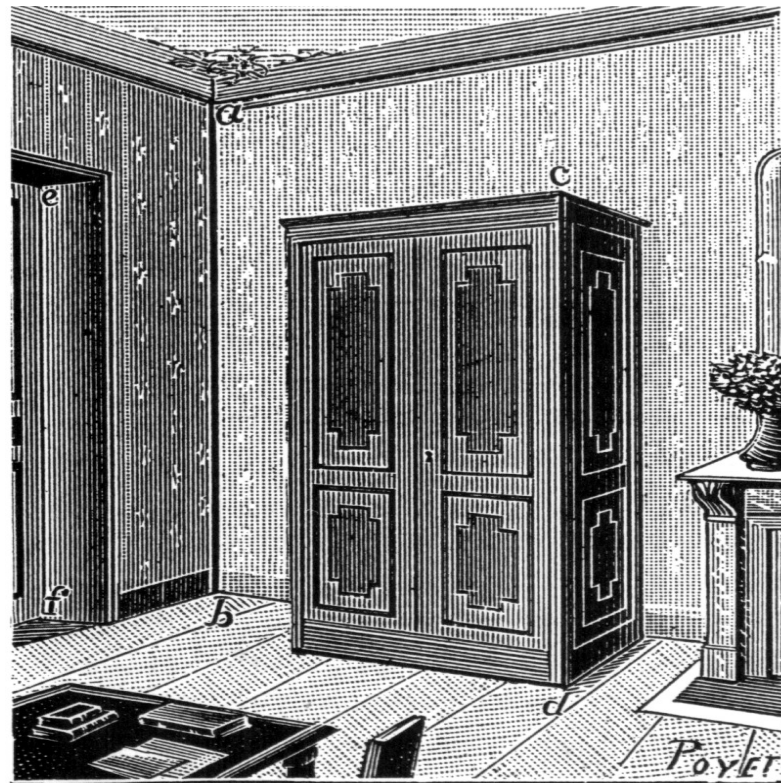
Mesas de Shepard

LCS
EPUSP



Justificativa da Ilusão de Muller-Lyers

LCS
EPUSP

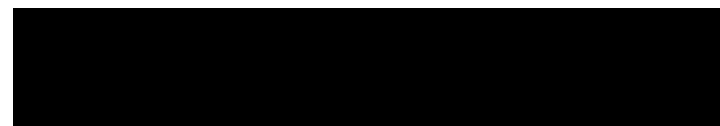


Cultura “Circular”

LCS
EPUSP







Verde

Vermelho

Preto

Branco

Marrom

Azul

Amarelo

Roxo

